

Capacitat de segrest de Carboni dels sòls de Sant Feliu de Guíxols, Santa Cristina d'Aro i Castell d'Aro (Baix Empordà)



Autor: Ivan Planes Lull
Data: 26 de setembre de 2007
Llicenciatura: Ciències Ambientals
Universitat Autònoma de Barcelona

Directora del projecte: Dra. Maria Gispert (Universitat de Girona)
Tutor del projecte: Dr. Oriol Ortiz (Universitat Autònoma de BCN)

Index de continguts

AGRAÏMENTS

1. INTRODUCCIÓ	1
1.1 L'efecte hivernacle	1
1.1.1 Els gasos d'efecte hivernacle (GEH)	2
1.1.2 Fonts d'emissió i mitigació dels gasos d'efecte hivernacle	5
1.2 El protocol de Kyoto.....	6
1.3 El cicle del carboni.....	8
1.3.1 El carboni (C) en el sòl.....	11
2. OBJECTIUS DEL TREBALL.....	16
3. ZONA D'ESTUDI	17
3.1 Localització i característiques generals.....	17
3.2 Climatologia	18
3.3 Hidrologia.....	21
3.4. Geologia.....	21
3.5 Tipus de sòls.....	23
3.6 Vegetació	23
4. METODOLOGIA D'ESTUDI	25
4.1 Mètodes de camp	27
4.1.1 Cartografia de sòls.....	27
4.1.2 Determinació de la temperatura.....	30
4.1.3 Determinació "in situ" del CO ₂	31
4.1.4 Presència de carbonats	31
4.1.5 Textura.....	32
4.2 Mètodes de laboratori	33
4.2.1 Determinació de la humitat del sòl	33
4.2.2 Determinació de la densitat aparent	34
4.2.3 Determinació de la porositat	34
4.2.4 Determinació de l'aigua continguda a capacitat de camp (CC)	35
4.2.5 Determinació del pH del sòl	35
4.2.6 Determinació de la conductivitat elèctrica (CE).....	36

4.2.7	Determinació del carboni oxidable i la matèria orgànica	36
4.2.8	Determinació de l'activitat respiratòria del sòl.....	38
4.2.9	Determinació del segrest de Carboni (coeficient de mineralització).....	39
4.3	Tractament estadístic	40
5.	RESULTATS.....	41
5.1	Delimitació de les unitats d'avaluació del sòl (LEU) i càlcul del nombre de punts d'observació	41
5.2	Determinació de les característiques observades al camp.....	43
5.3	Determinacions al laboratori	47
5.4	Tractament de les dades estadísticament	52
5.4.1	Tractament estadístic de les dades dels sòls forestals	58
5.4.2	Tractament estadístic de les dades del sòls agrícoles.....	61
5.5	Elaboració de cartografia digital amb un SIG	64
6.	DISCUSSIÓ	66
7.	CONCLUSIONS	70
8.	BIBLIOGRAFIA.....	71
ANNEX I: Documentació fotogràfica		
ANNEX II: Cartografia digital		
ANNEX III: Document de síntesi		

Agraïments

Vull agrair molt especialment a la Dra. Maria Gispert de la Universitat de Girona, la orientació que m'ha donat al llarg de tot el meu projecte. Gràcies a la seva dedicació i paciència a l'hora de mostrar-me les tècniques de treball de camp; i el seguiment en el meu treball de laboratori a l'Escola Politècnica Superior de la UdG ha estat possible la realització d'aquest projecte de final de carrera. Moltes gràcies també pel consell i recolzament en el procés de redacció d'aquesta memòria. D'igual manera vull agrair l'assessorament del Dr. Giovanni Pardini a l'hora de fer el tractament estadístic dels resultats que he obtingut. Agraeixo també la disponibilitat i els suggeriments que m'ha donat el Dr. Oriol Ortiz del CREAM de la UAB.

La elaboració dels mapes SIG ha estat possible gràcies a en Ferran Orduña del SIGTE de la Facultat de Lletres de la UdG. Ell m'ha iniciat i ha sapigut transmetre els primers conceptes sobre l'apassionant món dels sistemes d'informació geogràfica.

Ich danke Dir Anja por tu interés en mi proyecto de final de carrera, tu interés en acompañarme algún día en la campaña de recogida de muestras y tu inquietud por conocer las técnicas de laboratorio. Tu compañía ha hecho mis estancias en Sant Feliu más alegres. Gràcies a tu també Sergi per les teves aclaracions de geologia i l'interpretació de la informació dels mapes.

I no oblidar com no d'agrair el recolzament de la meua família, mare i pare sempre disposats a donar un cop de mà amb el que fes falta, sobretot amb les meves enrabiades quan alguna cosa no m'acabava de sortir. D'igual forma a la meua germana Núria per les seves correccions de les faltes ortogràfiques i del meu redactat en català.

1. Introducció

En l'actualitat s'està generant una consciència col·lectiva sobre les repercussions que pot tenir l'escalfament global degut a l'increment de l'efecte hivernacle. Totes aquelles mesures que s'adoptin per a evitar els efectes potencialment desastrosos que pot produir aquest desequilibri sobre moltes regions del món seran ben rebudes. Aconseguir doncs una disminució de les concentracions de CO_2 en l'atmosfera es troba en l'agenda política de tots els dirigents dels països industrialitzats. Una de les possibilitats que s'està prenent cada cop més en consideració és la captura (secrest) del CO_2 per part del sòl.

1.1 L'efecte hivernacle

L'efecte hivernacle és un procés natural pel qual l'atmosfera de la Terra reté part de la radiació (90 %) que aquesta remet en forma de radiació infraroja, un cop l'energia del Sol ha arribat a la superfície de la Terra. Els gasos d'efecte hivernacle (GEH) són els responsables d'aquesta retenció de radiació en l'atmosfera. Els GEH més importants són els següents: vapor d'aigua (H_2O_v), diòxid de carboni (CO_2), ozó (O_3), metà (CH_4), monòxid de carboni (CO) i òxids de nitrogen (NO_x).

L'acció beneficosa d'aquesta retenció de radiació en l'atmosfera és indubtable, perquè sense l'efecte hivernacle la temperatura de la Terra seria uns 40°C inferior i per tant la vida no seria possible tal i com la coneixem actualment.

Degut a la generalització d'activitats antropogèniques que produeixen aquests GEH, s'està produint un augment de l'efecte hivernacle i com a conseqüència un escalfament global a la Terra. Tot i que les conseqüències d'aquest escalfament global no són de fàcil predicció, sembla clar que la Terra està experimentant un canvi climàtic que a escala geològica pel planeta no suposa un greu problema però que a nivell social pot tenir greus conseqüències tal com es detalla a la taula 1.

Indicador	Projeccions de 1990 a 2100
Augment temperatura atmosfèrica	<i>entre 1,4 °C i 5,8 °C a tot el planeta entre 2,0 °C i 6,3 °C a Europa</i>
Precipitacions a Europa	<i>augment entre 1 i 2% en la precipitació anual al nord d'Europa, mentre que al sud disminució d'un 1 % de la precipitació anual</i>
Glaciars en Europa	<i>Estan en retrocés en vuit de les nou regions glacials d'Europa en consonància amb la tònica mundial. És possible que a l'any 2050 hagin desaparegut el 75 % dels glacials dels Alps suïssos.</i>
Elevació del nivell del mar	<i>Augmentarà entre 2,2 i 4,4 vegades més que el que va pujar en el segle XX.</i>
Composició de la flora	<i>Nombroses espècies podrien extingir-se en tot el món per efecte del canvi climàtic. És probable que les taxes d'extinció augmentin per factor no relacionats directament amb el canvi climàtic com poden ser la fragmentació d'hàbitats.</i>
Collites de l'agricultura	<i>Les males collites podrien convertir-se en alguna cosa habitual degut a la major freqüència d'episodis meteorològics extrems (sèquies, inundacions, turmentes, granissades)</i>
Pèrdues econòmiques	<i>El 79% de les pèrdues econòmiques causades per aquests successos catastròfics es deuen a fets relacionats amb el clima o la meteorologia.</i>
Onades de calor	<i>Les onades de calor seran més freqüents i intenses durant el segle XXI, i es preveu un increment futur del número de morts addicionals degudes al calor</i>

Taula 1: Projeccions de diversos indicadors ecològics, socials i econòmics.

Font: Agència Europea de Medi Ambient

1.1.1 Els gasos d'efecte hivernacle (GEH)

La concentració dels gasos d'efecte hivernacle (GEH) d'origen natural o antropogènic s'ha incrementat considerablement en les últimes dècades. Les fonts, els magatzematges i la dinàmica d'aquests gasos és important ja que afecten a les propietats químiques i físiques de l'atmosfera i alteren el balanç energètic de la terra.

A continuació es descriuen els principals GEH i les seves fonts.

Vapor d'aigua (H_2O_v)

El vapor d'aigua és el gas d'efecte hivernacle més abundant en l'atmosfera. No es creu que les activitats humanes afectin directament el nivell de la concentració global de vapor d'aigua, però l'increment de concentració dels altres GEH poden estar afectant indirectament el cicle hidrològic. L'escalfament general del planeta fa augmentar l'evaporació de l'hidrosfera i això té un efecte directe sobre la formació dels núvols, els quals poden absorbir i reflectir la radiació terrestre.

Diòxid de carboni (CO_2)

El diòxid de carboni és el segon gas d'efecte hivernacle més important després del vapor d'aigua. En la natura el carboni forma part d'un cicle global entre l'atmosfera, la biota terrestre i l'aigua dels oceans. En l'atmosfera el carboni hi és present, principalment, en la forma oxidada de diòxid de carboni. Les concentracions de CO_2 en l'atmosfera han augmentat de 280 ppm en els temps preindustrials, a 367 ppm en el 1999, aquest increment suposa una diferència del 31 % (IPCC, 2005).

L'aport de CO_2 a l'atmosfera pot tenir un origen natural o antropogènic. Les causes naturals es deuen principalment a la respiració dels organismes i descomposició de la matèria orgànica, i els incendis forestals naturals. Però aproximadament les tres quarts parts de les emissions de CO_2 a l'atmosfera durant els últims 20 anys han estat degudes a causes antropogèniques, entre les més importants està la crema de combustibles fòssils, tot i que no són menyspreables les emissions de CO_2 degudes a canvis en els usos del sòl, principalment per la desforestació.

Metà (CH_4)

El metà és el tercer gas més abundant en l'atmosfera després de l' H_2O_v i el CO_2 . És present en l'estratosfera, en quantitats que varien segons l'hemisferi: al Nord 1,7 ppm i al Sud 1,6 ppm. La seva concentració s'ha doblat en els últims 200 anys amb un increment anual aproximat d'un 0,8 a 1 % (IPCC, 2005). Tenint en compte que les concentracions de metà són relativament baixes a l'atmosfera, aquests increments de concentració tenen un impacte important en el medi ambient perquè el CH_4 és molt reactiu. El metà és el responsable del 20% del escalfament global produït pels gasos

hivernacle durant els últims 200 anys, el que representa un increment de temperatura de 0,7°C (Bouwman, 1990).

Monòxid de carboni (CO)

Més del 90% del CO que es troba en l'atmosfera prové de fonts naturals, encara que les emissions directes no són elevades, es formen grans quantitats per reaccions d'oxidació atmosfèrica del metà originat en els processos de degradació atmosfèrica (Orozco, 2003). El CO antropogènic prové majoritàriament del transport. Altres fonts són les plantes de combustió i el tractament de residus, així com el tractament i distribució de combustibles fòssils.

Òxids de nitrogen (NO_x)

De tots els possibles òxids que es poden formar amb el nitrogen (N) els que es detecten en l'atmosfera són principalment: òxid nitrós (N_2O), monòxid de nitrogen (NO), diòxid de nitrogen (NO_2). L'origen d'aquests gasos és diferent.

El N_2O prové en gran mesura de fonts naturals i activitats agrícoles, sent la font principal el sòl, on els microorganismes són capaços de degradar el nitrogen proteic fins nitrogen i N_2O , en la desnitrificació.

Per el contrari el NO i el NO_2 tenen fonamentalment un origen antropogènic, sent els majors emissors els vehicles, i qualsevol dels processos que donen lloc a reaccions de combustió a altes temperatures.

L'Ozó (O_3)

L'ozó en la estratosfera filtra els raigs ultravioletes (UV), que són perillosos per les estructures biològiques. No obstant, també és un GEH, perquè absorbeix la radiació infraroja. La concentració d'ozó en l'atmosfera no és uniforme sinó que varia segons l'alçada. Es forma a través de reaccions fotoquímiques involucrades amb la radiació solar, una molècula de oxigen (O_2) i un àtom oxigen (O). També pot ser generat per complexes reaccions fotoquímiques associades a emissions antropogèniques i constitueix un potent contaminant atmosfèric en la troposfera superficial. Es destrueix per processos químics que involucren a radicals hidròxils, NO_x i Clor.

1.1.2 Fonts d'emissió i mitigació dels gasos d'efecte hivernacle

Les fonts d'emissió dels gasos d'efecte hivernacle (GEH) segons la metodologia del IPCC (1997) es resumeixen en les següents categories:

- 1) Emissions degudes a la producció d'energia
- 2) Emissions atribuïbles a processos industrials
- 3) Emissions degudes a la gestió agrícola
- 4) Emissions per canvis d'usos del sòl i activitats forestals
- 5) Emissions degudes a la gestió dels residus (residus sòlids i aigües residuals urbanes)

La mitigació de l'emissió dels GEH es pot dur a terme de dues maneres: reducció de les emissions antropogèniques en origen o creació i/o millorament dels embornals de carboni en la biosfera.

Pel que fa a la reducció de les emissions antropogèniques es podria fer aconseguint una major eficiència en els processos tradicionals de producció d'energia. En el cas del transport es podria encoratjar a la població a utilitzar el transport públic per comptes del cotxe privat amb noves inversions en autobusos (per exemple de combustió d'hidrogen), tramvies i ferrocarrils o amb nous sistemes tarifaris de manera que el cost del desplaçament sigui més equitatiu per a tots els usuaris. Un bon exemple d'això és el sistema tarifari desenvolupat en la regió metropolitana de Barcelona. Pel que fa al consum d'energia a la llar s'han creat normes d'etiquetatge sobre els electrodomèstics de manera que el client ja no només es fixi en la qualitat d'un aparell sinó també en la seva eficiència energètica (UNFCCC, 2004). En la gestió dels residus sòlids s'estan aplicant impostos sobre els abocadors per tal que les autoritats locals fomentin el triatge dels residus i la seva posterior reutilització.

També cal destacar les fonts d'energia alternativa que es troben al mercat i sobre les que encara s'està investigant per tal de fer més eficients els sistemes de producció d'energia neta (sense l'ús de combustibles fòssils). Exemples d'aquests són l'ús de plaques fotovoltaïques i tèrmiques, la construcció de parcs eòlics, centrals hidroelèctriques, sistemes d'aprofitament de la força de les onades (energia mareomotriu) i de la calor interna de la Terra (energia geotèrmica).

Per altra banda també s'està investigant i desenvolupant la possibilitat d'utilitzar diferents compartiments de la Terra com a embornals per emmagatzemar el gasos contaminants, com el CO₂. Per exemple en formacions geològiques com salines profundes, mines de carbó abandonades i dipòsits de petroli i gas exhaurits, en els oceans, o per part de la biosfera amb bones pràctiques de silvicultura.

1.2 El Protocol de Kyoto

L'any 1997 a Kyoto va tenir lloc la cimera internacional coneguda amb el nom de Protocol de Kyoto, que va permetre l'acord entre governs i científics, agrupats en el Panell Intergovernamental sobre el Canvi Climàtic (IPCC, 2005) per tal de reduir les emissions de GEH. Els països que el van signar van pactar reduir almenys en un 5,2 % les emissions contaminants entre 2008 i el 2012 prenent com a referència els nivells del 1990. No va ser fins el 16 de febrer de 2005 que l'acord va entrar en vigor després de que, al firmar Rússia, es complís la condició de l'article 25 del protocol en que es demana que sigui ratificat pels països industrialitzats responsables d'almenys un 55% de les emissions de CO₂.

L'objectiu principal del protocol és frenar el canvi climàtic. En l'annex A del mateix es recullen els sis GEH que es volen reduir: el diòxid de carboni (CO₂), el metà (CH₄), l'òxid nitrós (N₂O), els hidrofluorcarburs (HFCs), els perfluorcarburs (PFCs) i l'hexafluorur de sofre (SF₆).

El protocol s'engrana mitjançant tres mecanismes flexibles i innovadors:

- Comerç internacional d'emissions (art. 6 i 17 del protocol)
- Mecanisme de desenvolupament net (art. 12 del protocol)
- Aplicació conjunta (art. 6 del protocol)

Això és així, ja que es pretén que les mesures de mitigació del canvi climàtic siguin el màxim eficaces possible en relació amb els seus costos i s'ofereix així la possibilitat de retallar les emissions o incrementar els embornals de carboni a l'exterior d'un país si té menys costos que fer-ho al mateix país. Ja que tot i que el cost de limitar les emissions o ampliar l'absorció varia enormement d'una regió a una altra, l'efecte en l'atmosfera és el mateix, sigui on sigui la regió on es faci l'acció.

En els articles 3.3 i 3.4 del protocol es proposa la possibilitat d'utilitzar el sòl com a embornal de CO₂. L'article 3.3 del protocol de Kyoto cita textualment: *“Les variacions netes de les emissions per les fonts i l'absorció pels embornals de gasos d'efecte hivernacle deguts a l'activitat humana directament relacionada amb el canvi d'ús de la terra i la silvicultura, limitada a l'aforestació, reforestació i desforestació des de 1990, calculades com variacions del carboni emmagatzemat en cada període acordat, seran utilitzades a efectes de complir els compromisos d'aquest article per a cada una de les parts que figuren a l'annex I. S'informarà de les emissions per les fonts i l'absorció pels embornals de gasos d'efecte hivernacle que tinguin relació amb aquestes activitats d'una manera transparent, verificable i revisades de conformitat amb els articles 7 i 8.”*

En el Protocol de Kyoto no es va fer esment dels fluxos de carboni en els sòls agrícoles, però sí que es va incloure en la conferència celebrada a Bonn l'any 2001, on es va fer una ampliació del Protocol. En l'article 3.4 es va afegir el correcte maneig dels sòls, tant els forestals com els agrícoles, com a estratègia per a la reducció del CO₂ atmosfèric ja que està relacionat amb l'increment dels nivells de carboni en els sòls. L'article 3.4 del protocol de Kyoto cita textualment: *“Previ a la primer període de sessions de la Conferència de les Parts en qualitat de reunió de les Parts d'aquest Protocol, cada una de les Parts incloses en l'annex I ha d'aportar a l'Òrgan Subsidiari*

d'Assessorament Científic i Tecnològic pel seu examen, dades que permetin establir el nivells de carboni emmagatzemat corresponent al 1990 i fer una estimació de les variacions en els nivells de carboni dels anys següents. En el primer període de sessions o prompte després d'aquest la Conferència de les parts en qualitat de reunió de les Parts en el present Protocol determinarà les modalitats, normes i directrius sobre la forma de sumar o restar a les quantitats atribuïdes a les Parts de l'annex I activitats humanes addicionals relacionades amb les variacions de les emissions per les fonts i l'absorció pels embornals de gasos d'efecte hivernacle en les categories de sòls agrícoles, el canvi en l'ús del sòl i silvicultura i sobre les activitats que s'hagin de sumar o restar, tenint en compte les incerteses, la transparència a l'hora d'informar, la verificabilitat, el treball metodològic del Panell Intergovernamental d'Experts pel Canvi Climàtic, l'assessorament donat per l'Òrgan Subsidiari d'Assessorament Científic i Tecnològic de conformitat amb l'article 5 i les decisions de la Conferència de les Parts. Tal decisió s'aplicarà en els períodes de compromís segon i següents. Una Part podrà optar per aplicar dita decisió sobre aquestes activitats humanes addicionals pel seu primer període de compromís, sempre que aquestes activitats s'hagin realitzat des del 1990."

Aquestes noves decisions poden aportar grans avantatges medioambientals, ja que impliquen el manteniment de zones verdes, la reforestació de les àrees en procés de desertització, el foment de les economies tradicionals en regions econòmicament deprimides, el manteniment de les estructures socials i culturals basades en l'explotació tradicional de la natura, així com la millora de la productivitat i sostenibilitat dels sistemes de producció agropecuària.

1.3 El cicle del carboni

S'anomena cicle del carboni al conjunt d'etapes per les quals passa el carboni al llarg del procés tancat a què és sotmès per l'acció dels éssers vius. Aquest cicle té importància ja que determina els sistemes d'aprofitament de l'energia dels diferents compostos del carboni per part dels éssers vius de la biosfera (GREC)

La concentració del CO₂ en l'atmosfera ha augmentat de 280 ppm en 1860 a 370 ppm en el 2003 (Guy J. et al., 2005). A la figura 2 es mostra aquesta evolució mesurada a Siple Station (Antàrtica) a partir dels "cores" de gel i des del 1958 mesurada de forma continua a l'estació de Mauna Loa (illes Hawaii) (Climate Science Group, 1998). La causa principal d'aquest augment és l'ús de combustibles fòssils generant en l'actualitat un 80 % del CO₂ emès. Keeling, el 1973, va establir un mètode per estimar aquestes emissions procedents dels combustibles fòssils, a partir de les dades del Department of International Economic and Social Affairs de les Nacions Unides (Quereda et al, 2001)

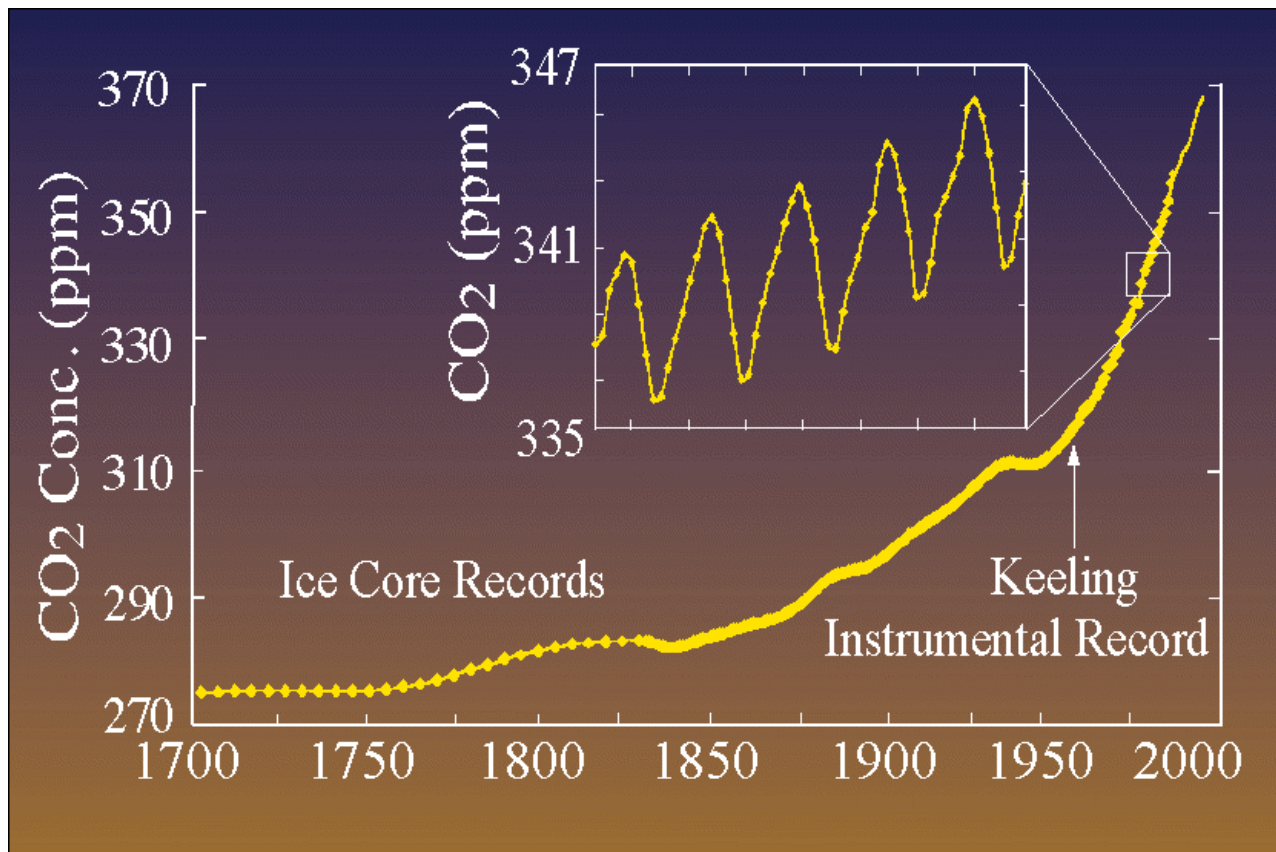


Fig. 2: Evolució de la concentració de CO₂ en la història moderna

Font: Climate Science Group (1998) <<http://www.realclimate.org>>

El cicle global del carboni implica tres reservoris principals de carboni: l'atmosfera, els oceans i l'edafosfera amb la biosfera que sosté. El carboni circula d'un reservori a un altre a velocitats i de formes diferents.

Mitjançant la fotosíntesi els organismes fixen CO_2 transformant-lo en matèria orgànica i O_2 . El procés contrari és la mineralització de la matèria orgànica, en el qual els organismes per extreure l'energia continguda en les molècules orgàniques utilitzant O_2 a través de la respiració i alliberant CO_2 i altres elements com N, P, S que fertilitzen el sòl.

Analitzant les quantitats de carboni que hi ha en cada reservori (figura 3) es pot observar que l'atmosfera emmagatzema 800 Gt de C ($1 \text{ Gt} = 10^{15} \text{ g}$). Però és en els oceans on s'acumula la major quantitat amb 39000 Gt de C. Aquests estan repartits en dos estrats: les aigües superficials que interaccionen amb l'atmosfera i on s'acumulen 1000 Gt de C i les aigües profundes on no hi ha interacció amb l'atmosfera i hi ha una reserva de 38000 Gt de C. En els continents es troba 500 Gt de C en la biota, mentre que al sòl hi ha una acumulació de carboni orgànic en forma d'humus i fullaraca de 2500 Gt de C. Per últim hi ha els reservoris de combustibles fòssils en la litosfera amb una acumulació de 20000 Gt de C.

En els fluxos de carboni que hi ha d'un reservori a un altre, s'observa que en els oceans hi ha una entrada de 90 Gt de C anuals i una sortida de 88 Gt de C de manera que s'absorbeixen 2 Gt més de les que s'emeten. El balanç net de la part continental és similar on hi ha un segrest de 120 Gt de C per processos de fotosíntesi i unes emissions de 58 i 60 Gt per la respiració de la biomassa i la respiració dels microorganismes del sòl respectivament. Les emissions antropogèniques degudes als combustibles fòssils representen un aport 6 Gt de C anuals cap a l'atmosfera i les pràctiques de canvis en l'ús de la terra i la desforestació aporten 1,7 Gt addicionals cap a l'atmosfera. El resultat de l'activitat humana és, doncs, una emissió neta anual de 7,7 Gt de C. D'aquesta manera el contingut de carboni de l'atmosfera augmenta anualment 3,7 Gt. Tot i això aquestes xifres són només mitjanes que poden emascarar situacions molt diferents depenen de l'ecosistema, per exemple els "pools" de C de la biomassa de les selves equatorials són de 250 Gt de C, ja que hi ha una molt ràpida mineralització de la matèria orgànica (Guy J. et al, 2005).

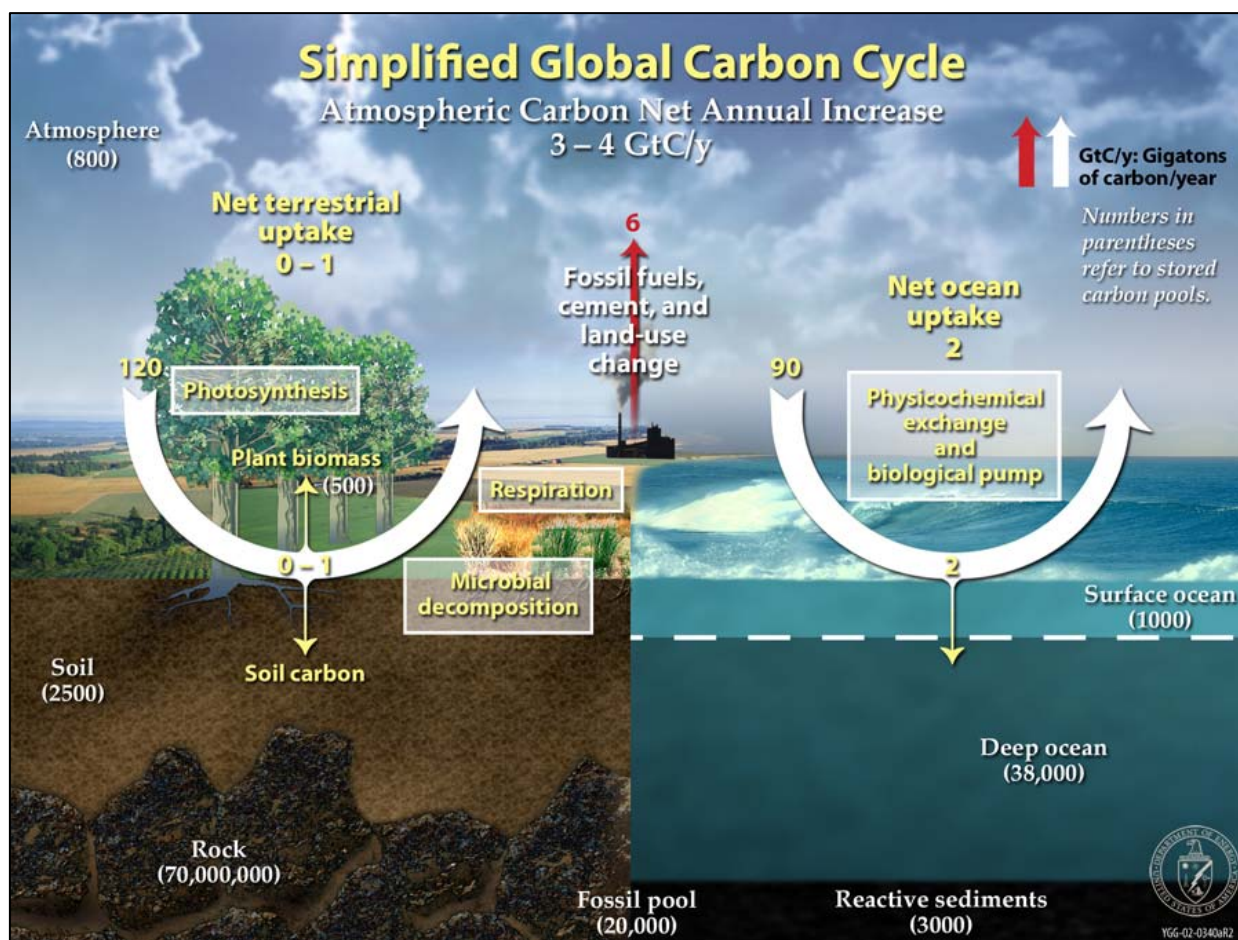


Fig. 3: Reservoirs i fluxos de carboni en l'ecosfera
Font: Genomics <<http://www.geonomics.energy.gov>>

1.3.1 El carboni en el sòl

En el sòl tant podem trobar carboni orgànic (SOC de l'anglès Soil Organic Carbon), el carboni que es troba a la matèria orgànica; com carboni inorgànic (SIC de l'anglès Soil Inorganic Carbon). El "pool" de SOC està format bàsicament per matèria orgànica no humificada i l'humus. El "pool" de SIC el forma C en la seva forma elemental i minerals de carbonat, com guixos, calcita, dolomita, aragonita i siderita. Hi ha dos tipus de components de carboni inorgànic en el sòl (SIC): el SIC primari i el secundari. El SIC primari està format per carbonats d'origen litogènic, provinents de la

descomposició de la roca. El SIC secundari es forma amb la dissolució del CO_2 en la fase gasosa del sòl per formar àcid carbònic i la seva reprecipitació en presència de Ca^{2+} i Mg^{2+} . Les reaccions que es donen es troben a la figura 4.

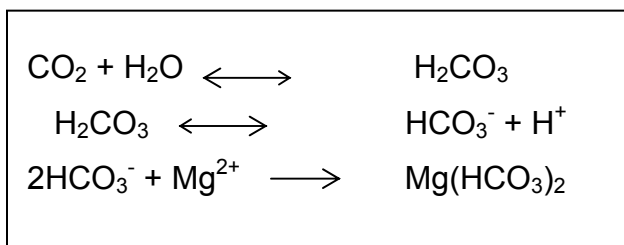


Fig. 4: Reactivitat del CO_2 edàfic en la solució del sòl

La matèria orgànica (m.o) constitueix la principal reserva edàfica de carboni. Els seus constituents posseeixen propietats físico-químiques-biològiques diferenciades, responsables dels canvis i de les activitats fonamentals del sòl. La m.o. es pot classificar en matèria orgànica no humificada i humus. La m.o. no humificada la formen la biomassa vegetal, animal i microbiana. L'humus està format per substàncies no húmiques (components orgànics senzills com sucres i aminoàcids) i les substàncies húmiques "pròpiament dites" (compostos orgànics d'elevat pes molecular). L'humus suposa entre un 60 i un 80% de la matèria orgànica del sòl i presenta una gran superfície específica on es poden absorbir molècules d'aigua, a més presenta una alta capacitat d'intercanvi catiònic (CIC), és a dir, grups radicals amb càrrega negativa on es poden unir i desunir amb facilitat cations relacionat amb la fertilitat al sòl. L'agregació i l'estabilitat de l'estructura del sòl augmenten amb el contingut de matèria orgànica, i a la vegada s'incrementa la taxa d'infiltració i el contingut d'aigua disponible en el sòl, així com la resistència a l'erosió hídrica i eòlica. La matèria orgànica del sòl també millora la dinàmica i biodisponibilitat dels principals nutrients de les plantes (Stevenson, 1994).

El factors principals que determinen el contingut de m.o. en el sòl són: la humitat i textura del sòl, l'ús del sòl, l'orografia del terreny i el clima (temperatura, precipitacions).

L'estabilització d'aquesta m.o. al sòl, ja sigui en forma de matèria orgànica no humificada, humus o compostos de carbonats és el que s'anomena captura (secrest) de carboni en el sòl.

La textura del sòl és una propietat molt important per tal d'avaluar la capacitat de segrest de C estable al sòls. Els sòls francs i argilosos presenten una capacitat major que els sòls sorrencs, ja que en aquests l'aire i l'aigua pot circular amb major facilitat desprotegint la matèria orgànica (m.o) i afavorint la seva mineralització. En canvi els sòls argilosos al tenir una mida de porus més petita tenen l'humus més protegit i s'evita així la seva descomposició. Al sòls de Catalunya, la protecció física de la m.o. i la carbonització sembla que són dos dels processos que podrien incidir significativament en el segrest de carboni (Alcañiz i altres, 2005)

La humitat pot ser un factor limitant pel segrest de carboni en els sòls de Catalunya. El reg és una de les pràctiques més efectives per augmentar les reserves de carboni al sòl, de manera que els sòls de les noves àrees regables es podrien convertir en bons embornals de C (Alcañiz i altres, 2005).

L'ús del sòl també és un factor clau en el segrest de carboni en els sòls. Els sòls agrícoles són els que tenen una quantitat de carboni més baixa, mentre que en els sòls forestals la quantitat de carboni acumulat és la més elevada. En els boscos naturals el carboni del sòl està en equilibri, però si té lloc la desforestació –o la reforestació–, aquest equilibri es veu afectat. Actualment s'estima que cada any es desforesten entre 15 i 17 milions de hectàrees, sobretot en els tròpics (FAO, 2002). S'ha estudiat que en els climes tropicals es perd entre un 50 i un 75% del C del sòl entre els primers 5 i 20 anys després de la desforestació, mentre que en els climes temperats es perd entre un 25 i un 50 % després de 20 a 50 anys. (Lal R., 2004a) En els sòls agrícoles la major conservació de la matèria orgànica ve relacionat amb el tipus de llaurada que es faci. Ja que l'augment de l'aïració del sòl i l'alteració a que es veu sotmès són els principals factors que estimulen la mineralització de la matèria orgànica pels microorganismes del sòl. L'agricultura de conservació i la llaurada zero, evita aquesta pèrdua de matèria orgànica per mineralització. Les propostes per tal

d'afavorir la captura de carboni en sòls agrícoles segons la FAO són les següents: llaurada zero, cobertura permanent del sòl amb vegetació (cultius comuns i plantes addicionals) o residus de plantes, sembrada directa a través de la cobertura permanent del sòl o dels residus dels cultius, producció de biomassa i cobertura del sòl amb materials vegetals utilitzant espècies adaptades (FAO, 2002). S'ha estimat que els sòls agrícoles de la Unió Europea (UE) tenen un potencial biològic de segrest de C entre 16 i 29 Mt/any (Freibauer et al., 2004)

Un altre factor a considerar en la capacitat de segrest de carboni és l'orografia del terreny. Tot i que no existeix una unanimitat en la literatura científica sobre la relació entre erosió del sòl i segrest de C, hi ha estudis que afirmen la relació que existeix entre l'erosió i la pèrdua de C i conclouen que cada any s'emeten 1,14 Pg C a l'atmosfera per l'erosió, degut a la ruptura dels agregats del sòl per l'energia gravitacional de la caiguda de les gotes ("watersplash") i l'alteració de l'estructura del sòl que es produeix en l'escorrentia superficial (Starr et al., 2001, Lal R. et al. 2004b). Per altra banda s'han publicat altres estudis en que s'afirma tot el contrari i es diu que l'erosió pot disminuir l'emissió de CO₂ cap a l'atmosfera ja que amb l'erosió i l'escorrentia s'inverteix l'ordre del perfil del sòl i es protegeix el carboni orgànic més hidrofílic en les capes menys superficials i el carboni orgànic més recalcitrant passa a les capes més superficials (Liu et al., 2003). Fins i tot estudis més recents han quantificat el C que s'evita que s'escapi cap a l'atmosfera en 1.9 gC/m²·any (Yoo et al., 2005).

Hi ha una relació directa entre els embornals de C del sòl i l'atmosfera i ha estat quantificada de la següent manera: un augment de 1 Pg de C en el sòl és equivalent a una reducció de la concentració atmosfèrica de CO₂ en 0,47 ppm; i aquesta relació també és vàlida en sentit invers (Lal R., 2006).

Les projeccions pels anys futurs indiquen que la temperatura i la concentració atmosfèrica de CO₂ augmentaran de manera que s'afavoriran les condicions pel segrest de carboni en el sòl en el centre i nord d'Europa. La capacitat addicional d'emmagatzematge de carboni que podria aconseguir la U.E. durant el període de

2008 al 2012, gràcies a diferents mesures silvícoles i agrícoles, podrien ser equivalents a un 2,4% de les emissions antropogèniques dels gasos d'efecte hivernacle. Això suposaria un 30 % de l'objectiu de reducció del protocol de Kyoto (Agència Europea del Medi Ambient, 2006). Tot i això hi ha altres processos derivats del canvi climàtic que podrien reduir aquesta captació de carboni, com incendis, plagues i tempestes i estrès hídric, especialment en l'àrea del Mediterrani. A més l'increment de les temperatures podria produir un augment de la respiració de les plantes i els microorganismes del sòl que produiria un major alliberament de CO₂ a l'atmosfera.

No existeix però gaires estudis científics respecte aquesta capacitat de segrest en diferents tipus de sòls a nivell de la Península Ibèrica. Un estudi que es va publicar el 1999 (Hontoria, C et al., 1999) conclouia que els paràmetres que més influenciaven en el contingut de carboni orgànic del sòl (SOC) en 766 sòls de la península Ibèrica eren el règim anual de precipitacions, la temperatura i la gestió del sòl.

A més hi ha una manca de cartografia de sòls i d'informació disponible per poder fer un inventari fiable del SOC als sòls. Només s'ha cartografiat un 15 %, a escala 1:25000 de tot el territori català, de manera que no és suficient per poder estendre a tot el territori la informació obtinguda de sòls representatius (Alcañiz et al. 2005). Per això és considera necessari continuar ampliant la informació al respecte en els sòls de Catalunya i possibilitar així l'elaboració d'un inventari cada cop més exhaustiu de les entrades i sortides de CO₂ en els sòls de Catalunya.

En aquest treball s'estudia quina possibilitat ofereixen els sòls com a embornals per tal de segrestar el CO₂, el segon gas d'efecte hivernacle amb major responsabilitat sobre l'escalfament global, en una zona representativa de la costa catalana.

2. Objectius del treball

Vista la importància del paper que poden jugar els sòls en la captura de carboni com a embornals i la manca d'informació de sòls que existeix al respecte, es proposa realitzar el treball en la zona de Sant Feliu de Guíxols, Santa Cristina d'Aro i Castell d'Aro (Baix Empordà, Girona) que correspon al full 366-2-1 de l'ICC (2005) escala 1:25000 amb els objectius següents:

1. Determinar les característiques físico-químiques dels sòls de l'àrea d'estudi.
2. Determinar la capacitat de segrest del carboni per part dels sòls mitjançant la relació entre l'emissió de CO₂ i el contingut de carboni orgànic del sòl.
3. Aplicar un sistema d'informació geogràfica (SIG) per l'obtenció d'un mapa de segrest de carboni corresponent a la zona esmentada.

3. Zona d'estudi

3.1 Localització i característiques generals

Aquest treball s'ha realitzat al terme municipal de Sant Feliu de Guíxols, Santa Cristina d'Aro i Castell d'Aro (figura 5), municipis pertanyents a la comarca del Baix Empordà (nord-est de Catalunya).



Fig. 5: Ortofotomapa de la zona de Sant Feliu de Guíxols i Sta. Cristina d'Aro

Font: Institut Cartogràfic de Catalunya

S'ha pres una franja a una latitud compresa entre les coordenades UTM 4.623.500 i 4.631.000 i una longitud entre les coordenades UTM 498.500 i 505.000. Aquesta franja ve delimitada al cantó sud-est pel mar Mediterrani, al nord pel massís de les Gavarres i a l'oest per la riera de Vilar a l'extrem més occidental del golf Costa Brava. És una zona que presenta força relleu format bàsicament pel massís de

l'Ardenya i la part més meridional del massís de les Gavarres. L'altitud màxima de la zona es troba en el Montclar amb 417 m d'alçada. La part costera més meridional es caracteritza per ser escarpada i amb penya-segats.

3.2 Climatologia

Aquesta zona presenta un clima típicament mediterrani amb estius secs i càlids, primaveres i hiverns suaus. La temperatura mitjana anual de la zona és d'entre 15-16 °C. Aquests valors de temperatura tan suaus són possibles gràcies a l'efecte termoregulator de les càlides aigües mediterrànies durant els mesos més freds. En els mesos d'hivern les temperatures són de 8 a 9 °C de mitjana mentre que en els mesos d'estiu augmenten fins a ser 23 – 24 °C de mitjana (Atlas Comarcal de Catalunya, 1998). A la figura 6 es representa la temperatura mitjana mensual al llarg de tot l'any i les línies de mitjana de les màximes i mínimes diàries de l'observatori de Sant Feliu de Guíxols.

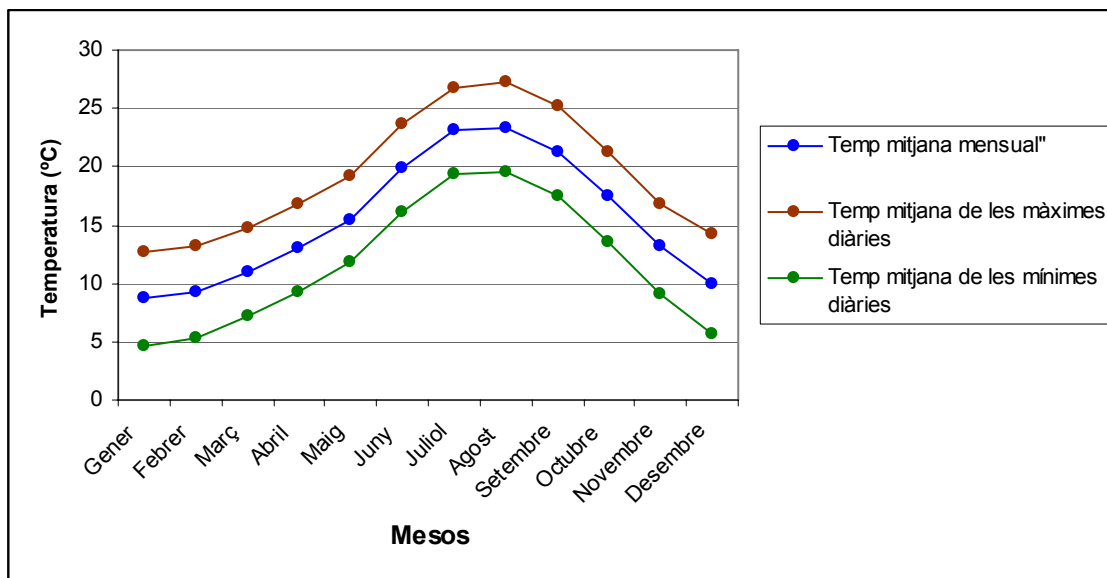


Fig. 6: Temp. mitjana mensual, mitjana de les màximes i les mínimes al llarg de l'any

Font: Centre Meteorològic de Catalunya

En concret el clima de la zona es subclassifica en mediterrània litoral septentrional (Martín-Vide J., 1992) amb una precipitació mitjana anual de 600 a 700 mm i un règim pluviomètric estacional amb dos màxims i dos mínims estacionals. El màxim principal correspon a la tardor, que és l'estació més plujosa, mentre que el mínim principal correspon a l'estiu on es registra la pluviometria més minsa de l'any. Menys destacats són el màxim secundari de primavera i el mínim secundari d'hivern. Bàsicament tota la precipitació que es produeix a la zona és en forma de pluja, a excepció d'alguns episodis poc freqüents en que hi ha presència de neu o calamarsa. En la figura 7 es pot observar els dies de pluja de mitjà en cada mes.

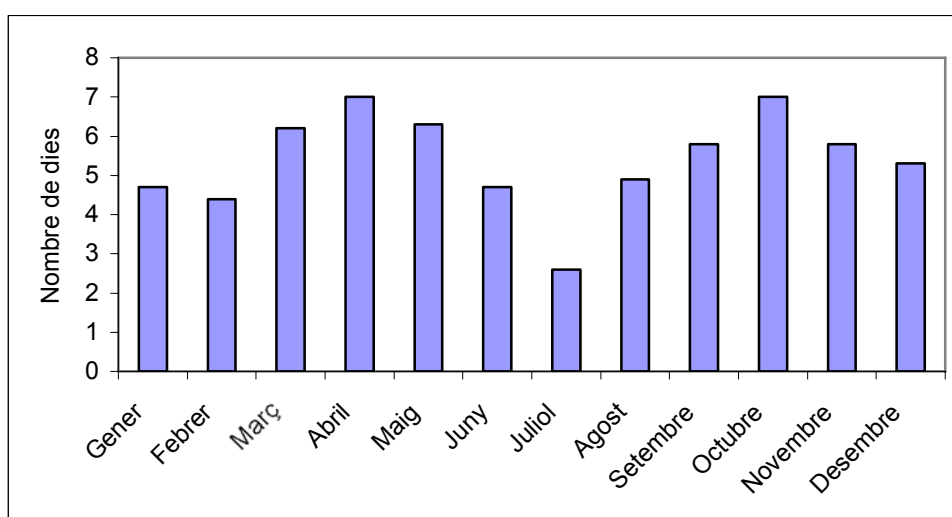


Fig. 7 Dies de precipitació enregistrats a l'estació de Sant Feliu de Guíxols

Font: Centre Meteorològic de Catalunya

El balanç hídric és el resultat de dos processos de signe contrari: l'entrada d'aigua per les precipitacions i la sortida per evaporació i desguàs, tot tenint en compte les quantitats emmagatzemades al sòl. L'evapotranspiració s'estima de forma indirecta pel mètode de Thornthwaite, que és de fàcil aplicació sempre que es disposi de sèries d'observacions tèrmiques i pluviomètriques (Atlas Comarcal de Catalunya, 1998). La capacitat evaporant de l'atmosfera estimada a la zona equival a uns 800 mil·límetres d'aigua, és a dir, uns 200 mil·límetres superior als totals pluviomètrics anuals. Tanmateix la manca d'aigua als mesos càlids d'abril, maig, juny, juliol i agost és de l'ordre dels 250 mm, en el cas que la capacitat d'emmagatzematge del sòl, sigui de

100 mm, mentre que als mesos d'hivern gener, febrer i març hi ha un lleuger excés d'aigua. A la figura 8 tenim representat el diagrama ombrotèrmic de la zona, on es pot analitzar el balanç hídric i l'evapotranspiració per la zona de Sant Feliu de Guíxols. D'acord amb el criteri de Thornthwaite, el clima del Baix Empordà pot qualificar-se de sec subhúmit, amb un moderat excés d'aigua a l'hivern. Tot i tractar-se d'un clima sec, no pot ésser qualificat de semiàrid.

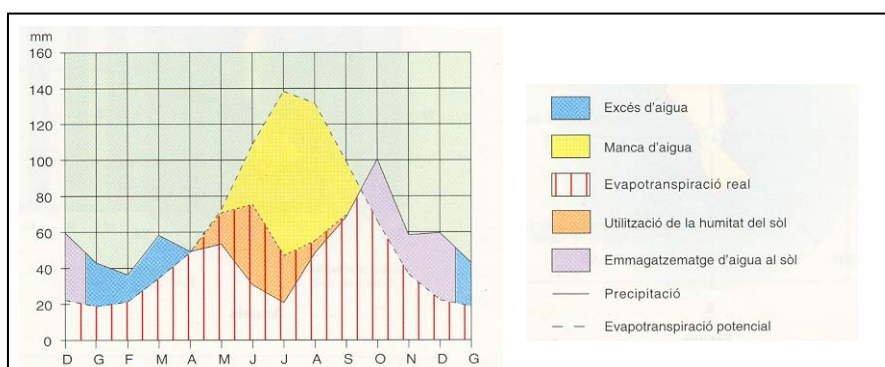


Fig. 8: Diagrama ombrotèrmic de la zona de St. Feliu

Font: Centre Meteorològic de Catalunya

La situació del Baix Empordà al nord-est de Catalunya afavoreix al desenvolupament de vents. Situacions amb anticiclons sobre una àmplia àrea que compregui el Baix Empordà i la Mediterrània occidental, són les més adients per l'establiment de contrastos termomètrics entre la comarca i el mar i, en conseqüència per a la formació de brises i terrals. Tot i això la situació més comuna es dona quan hi ha un anticicló centrat sobre l'oest de la península Ibèrica i es forma vent fred i sovint intens de component nord sobre l'Alt i el Baix Empordà. Aquest vent es coneix amb el nom de Tramuntana i és el més característic de la zona. La Tramuntana és més freqüent a l'hivern i començament de la primavera que en cap altra estació. A l'estiu, la Tramuntana és poc freqüent, i és el Garbí el vent més habitual. Aquest vent és d'origen marí de component del sud-oest, i assoleix la seva màxima intensitat cap al migdia. És per això que podria confondre's amb una brisa, però no és així perquè afecta una capa d'aire de 900 a 1500 m, impròpia de les brises de mar. Per últim el tercer vent present a la zona és el Llevant de component est que predomina a la costa a la primavera i a la tardor i ocasionalment pot manifestar-se amb violència.

3.3 Hidrologia

La xarxa de drenatge de la zona està vertebrada pel curs del Riudaura en la part més septentrional del territori i per petites conques litorals independents en la part sud-occidental. El Riudara neix als peus de l'ermita de Sant Baldiri, al massís d'Ardenya i després de passar breument per la comarca del Gironès, el riu agafa la llera per la vall d'Aro on recull les aigües dels vessants més meridionals de les Gavarres i d'una part del massís d'Ardenya per conduir-les fins al mar, desembocant a la part més meridional del terme municipal de Platja d'Aro. D'entre els seus principals afluents destaquen les rieres de Solius i del Vilar per la dreta i les rieres de Salenys, de Bell-lloc, de Canyet de la Coma i de Malany per l'esquerra. Aquest riu durant els mesos més secs només porta un petit flux permanent a les zona de la capçalera alimentat pels torrents i rieres, que desapareix quan arriba a la plana. Les conques litorals de la part sud tenen el seu naixement en la Serralada Costanera i aboquen al mar de manera directa, amb un règim que es caracteritza per l'extrema variabilitat estacional. De manera que durant la majoria dels mesos no hi ha a penes cabal i en canvi amb els episodis de pluja dels mesos de major precipitació poden esdevenir perillosos.

3.4 Geologia

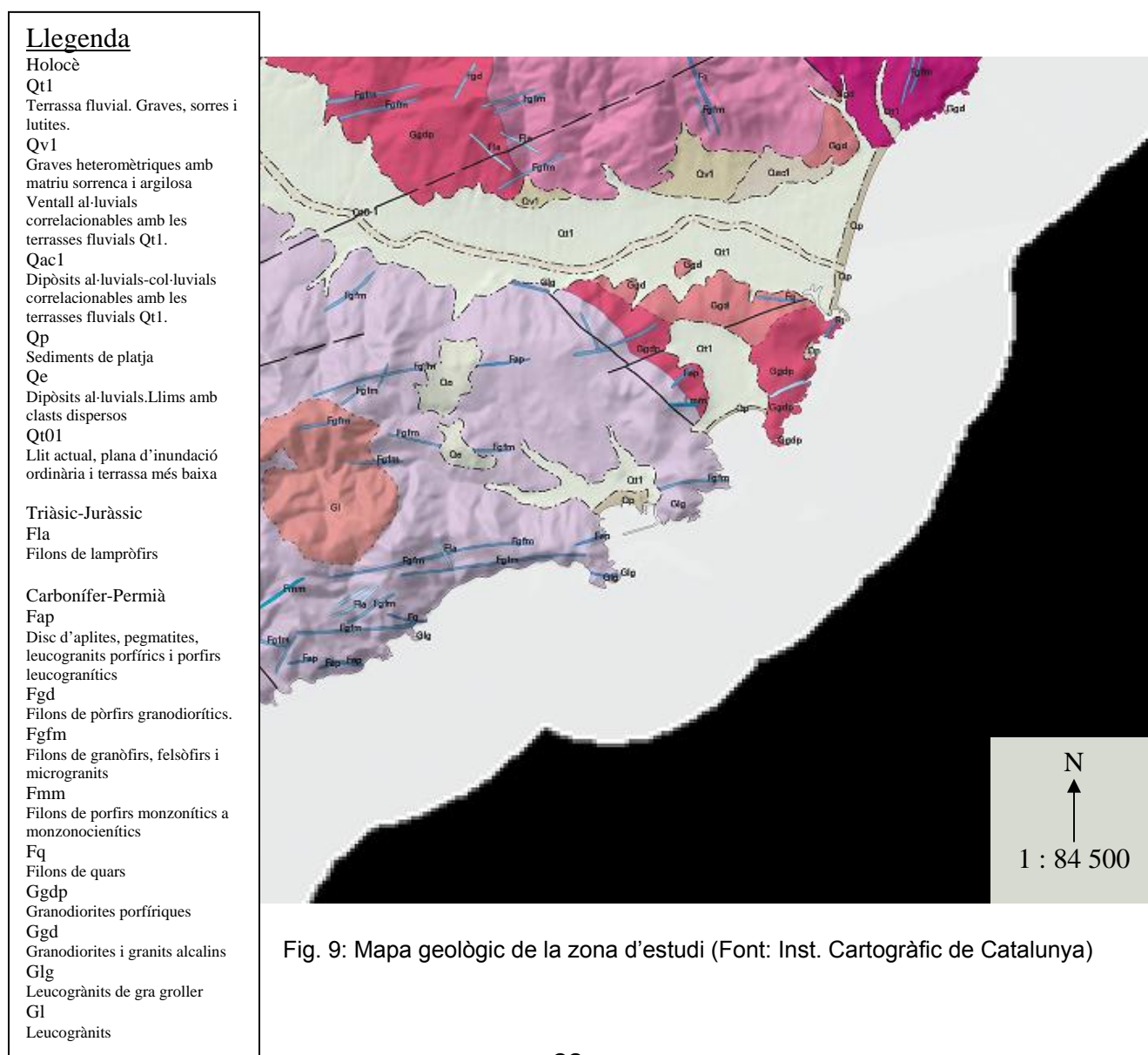
La zona d'estudi queda emmarcada geològicament a la part nord-est del gran batòlit granític que conforma els relleus del litoral de la comarca del Maresme i de La Selva (figura 9). Aquest batòlit, generat durant l'orogènia tardoherciniana (datada al paleozoic superior), es caracteritza mineralògicament per la presència de quars, feldspat i mica.

Aquest bloc queda dividit topogràficament pel riu Riudaura deixant al nord el massís de les Gavarres i al sud el massís de l'Ardenya. Es tracta d'una intrusió plutònica composta, en funció de la mineralogia dels granits, per dos grans grups de roques:

-Els leucogranits i granits leucocràtics (monzogranits), caracteritzats pel domini de minerals fèlsics (de colors clars) respecte el minerals màfics (de colors foscos) (representats per les sigles Fap, Fmm, Glg, Gl en la fig. 9)

-Les granodiorites biotíftiques, definides a partir de l'elevat contingut en miques (representades per les sigles Fgd, Fgfm, Ggdp, Ggd en la fig. 9).

La presència d'aquests granits és evident a gran part de la zona estudiada excepte a la conca fluvial del riu Riudaura, on degut a l'activitat erosiva i deposicional durant diversos episodis d'inundació ordinària, s'hi ha generat un dipòsit quaternari d'una profunditat de diversos metres (formacions representades per les sigles Qt1, Qv1, Qac1, Qe en la fig. 9). El material que es troba són llims, argiles, sorres, graves i lutites en forma de terrasses fluvials que pertanyen a l'Holocè.



3.5 Tipus de sòls

Els sòls presents en la zona objecte d'estudi es caracteritzen per ser sòls prims i majoritàriament poc desenvolupats, pertanyents als ordres dels Entisòls i Inceptisòls segons Soil Taxonomy System (STS) (Gisbert, 1999) on s'hi desenvolupa majoritàriament vegetació arbustiva. Aquest mínim desenvolupament dels horitzons es degut principalment al tipus de material originari i a l'erosió, ja sigui per escorrentia en pendents acusats, pels incendis que ha anat patint la zona al llarg de la seva història recent o per haver estat terrenys agrícoles en el passat.

Els Entisòls de la zona són sòls molt poc evolucionats i les seves propietats doncs depenen del material litogènic. El seu perfil típic és AC (Xerorthent). Els materials originaris estan formats per minerals molt resistents i per tant són molt estables. A la plana al·luvial existeixen sòls d'aportament fluvial (Xerofluvent) que tot i ser poc madurs, solen ser profunds i fèrtils, i per això són seu de conreus i de plantacions d'arbredes.

Els Inceptisòls presents són una mica més desenvolupats que els Entisòls i presenten un perfil típic AB_wC (Xerochrept).

3.6 Vegetació

La vegetació present és fonamentalment l'alzina (*Quercus Ilex*), l'alzina surera o suro (*Quercus suber*) i el pi blanc (*Pinus halepensis*). En tractar-se d'un estrat arbori poc dens, permet que el sotabosc sigui especialment desenvolupat i impenetrable. Està dominat per espècies diverses de bruc (*Erica sp.*), el boix (*Buxus sempervirens*), el romaní (*Rosmarinus officinalis*) i l'estepa borrera (*Cistus salviifolius*) (Pascual, 2001). Les alzines i el boix es troben principalment en sòls calcaris mentre que els suros es troben més habitualment en sòls àcids, és a dir, amb presència de silicats. A les lleres dels rius i rieres s'hi troben espècies que necessiten ambients més húmids com són els pollancres (*Populus sp.*), àlbers (*Populus alba*), verns (*Alnus glutinosa*) i oms (*Ulmus campestris*).

El massís de l'Ardenya, de substrat granític, és ocupat per suredes i brolles silicícoles, que fan un mosaic depenent de les condicions del terreny i dels incendis recents. Les pluges importants als cims del massís i un tipus de granit molt fragmentat, fan que hi hagi surgències amb aigua una bona part de l'any, on creixen espècies higròfiles típiques de climes continentals com és la dròsera (*Drosera rotundifolia*). A la zona de la Pedralta es troben pradells de minúscules plantes anuals (teròfits). Els cursos fluvials són ocupats per vernedes, i a les capçaleres i als indrets més càlids, s'hi fa la singular formació de la lloreda amb osmunda (*Osmundo-Lauretum*).

La vegetació arbòria arriba ben bé fins arran de mar, on les sureres són acompanyades per pi blanc, natural d'aquestes zones amb sòls prims. Les platges sorrenques són mancades de vegetació, i als roquissars es fa la comunitat de pastanaga marina i fonoll marí (*Dauco-Crithmetum maritimi*).

4. Metodologia d'estudi

S'han determinat diferents característiques físiques (textura, temperatura en el moment de la presa de mostra, capacitat de retenció hídrica, densitat aparent), i químiques del sòl (pH, carbonats, carboni oxidable) i s'han relacionat amb la respiració de cada sòl (producció de CO_2), de manera que es pugui obtenir la informació necessària per a determinar la capacitat de segrest de carboni. Per a poder establir aquesta relació es determina l'emissió de CO_2 respecte al contingut de carboni orgànic del sòl en un lloc determinat, és a dir, l'anomenat coeficient de mineralització.

A continuació es mostra un diagrama esquemàtic (figura 10) amb el pla de treball del projecte.

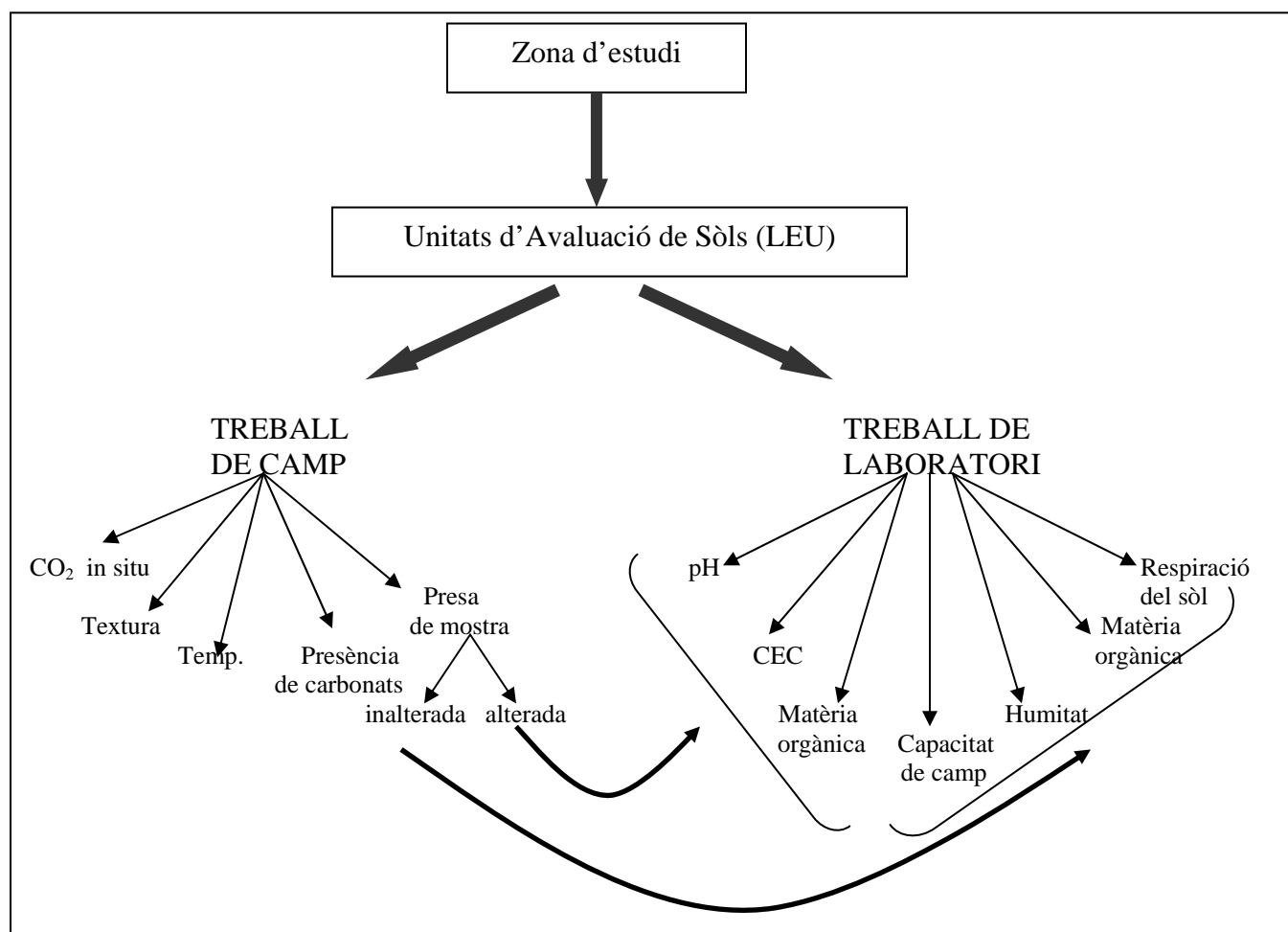


Fig. 10: Diagrama amb el pla de treball del projecte

S'ha fet un reconeixement de la zona d'estudi i s'han delimitat unes Unitats Cartogràfiques o d'Avaluació de Sòls (LEU). A continuació s'ha realitzat un treball de camp on s'ha determinat diverses variables "in situ". També s'ha pres dues mostres alterada i inalterada que posteriorment han estat analitzades al laboratori.

El treball de camp va ser dut a terme entre els mesos de maig i juny d'aquest any 2007, intentant que fossin dies que presentessin les mateixes condicions ambientals (mig ennuvolats per tal que les temperatures d'aquests dies preestiuenques no assolissin valors molt elevats i així les mesures fetes al camp tinguessin unes condicions aproximadament homogènies). Afortunadament la primavera passada va ser relativament suau a Catalunya amb pocs dies d'altres temperatures. A continuació es mostra un diagrama de les temperatures màximes i mínimes i la precipitació diària dels mesos de maig i juny del 2007 a la zona d'estudi (figura 11) on s'indica els dies en que es va realitzar la campanya de mostreig.

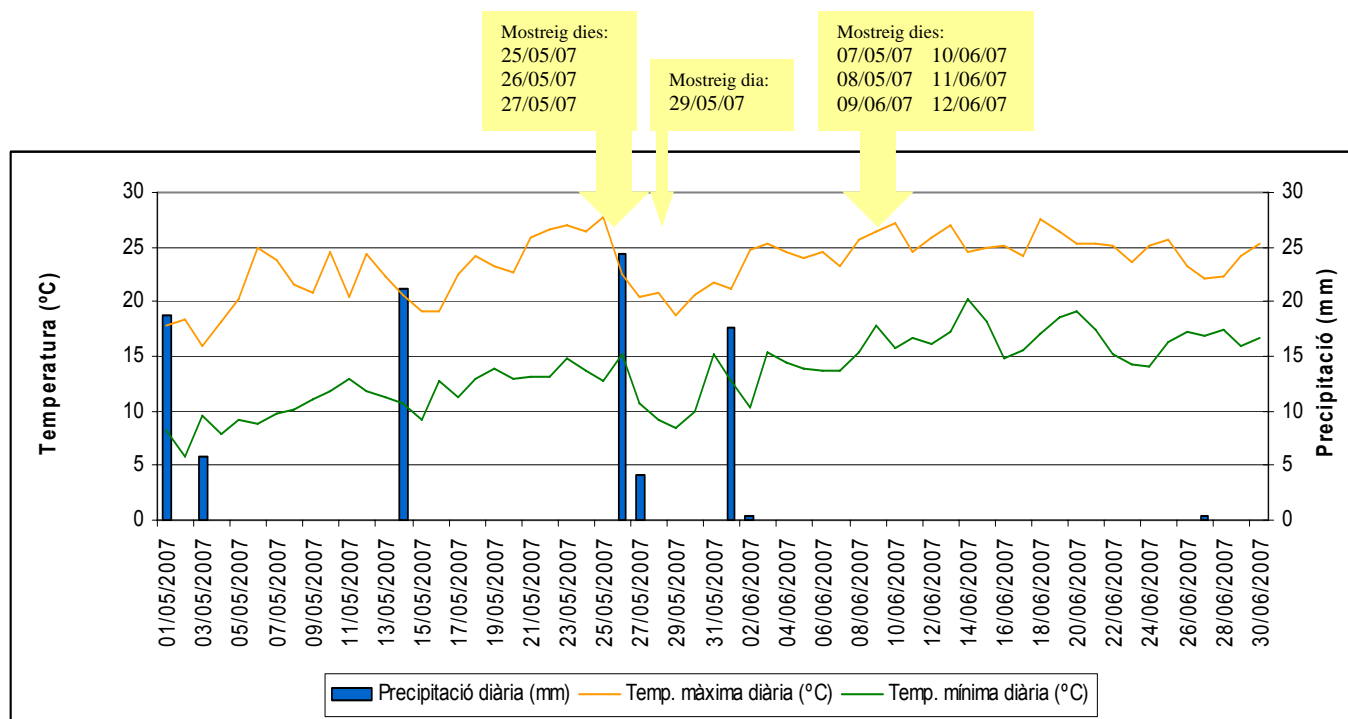


Fig. 11: Diagrama de temperatures màximes i mínimes i precipitació dels mesos de maig i juny del 2007

Font: Centre Meteorològic de Catalunya

4.1 Mètodes de camp

4.1.1 Cartografia de sòls

La metodologia de treball en la cartografia de sòls consta de la següents fases:

Fase prèvia

S'ha delimitat l'extensió de la zona a estudiar i l'escala de treball en funció dels objectius proposats. S'ha recollit antecedents bibliogràfics i dades prèvies sobre la litologia (mapa geològic ICC), la topografia (ortofotomapa i mapa topogràfic ICC), la climatologia, la vegetació i els usos dels sòls (Atlas Comarcal de Catalunya, Baix Empordà, ICC, 1998).

Reconeixement de la zona

El reconeixement de la zona s'ha fet d'una manera sistemàtica mitjançant una malla de punts de mostreig. S'ha utilitzat un ortofotomapa en color escala 1:25 000 full 366-2-1 (ICC, 2005), un mapa topogràfic escala 1:25 000 (amb escala de representació 1:20 000) (ICC, 2007) i el mapa geològic comarcal del Baix Empordà escala 1:50000 (ICC, 2006).

Delimitació d'unitats d'avaluació de sòl i nombre de punts d'observació

En aquesta fase s'han establert els límits de les unitats cartogràfiques o d'avaluació de sòl (LEU) sobre l'ortofotomapa i s'han elegit els número i punts d'observació per l'estudi del sòl en el camp, en cada LEU.

Per tal de determinar el número d'observacions s'ha fet ús de l'expressió proposada per Nieves i col. (1985), citat per Porta i al. (2003) (figura 12)

$dn = 4 / (K \cdot n^2)$ observacions/ha	
on:	dn : densitat d'observacions
	n : escala del mapa /10.000
	K : eficiència edafològica
	K=1 si la massa vegetal arbòria dificulta l'observació del terreny
	5<K<10 en àrees conreades de la zona temperada
	K=20 relleu ondulat en àrees sense cobertura vegetal i fotos aèries

Fig. 12: Càlcul de la densitat d'observacions

El concepte d'eficiència edafològica (K) té en compte les condicions d'execució del treball com ara la informació disponible, experiència de l'equip prospector, tipus de treball i època de l'any.

A partir d'aquí es pot establir la densitat real (dr) d'observacions que té en compte el grau d'anàlisi, pel que es realitza un percentatge (a) del calculat per a l'escala (figura 13)

$$dr = a / (25 \cdot K \cdot n^2) \text{ observacions/ha}$$

on: dr: densitat real d'observacions
 a: percentatge que es vol mostrejar del total
 n: escala del mapa / 10.000
 K: eficiència edafològica

Fig. 13: Càlcul de la densitat real d'observacions

Campanya de camp

Es tracta d'elaborar un inventari dels punts d'observació prefixats. S'ha preparat una fitxa de camp on s'han anotat les propietats rellevants pels objectius del treball (taula 2).

Punt de mostreig	Coord. UTM	Ús del sòl	Vegetació	Textura	Presència carbonats	Mesura de CO2 (ppm)	Temp.	Altitud	Observacions
1.1									
1.2									
2.1									
2.3									
2.4									

Taula 2: Fitxa de camp utilitzada durant la campanya de mostreig

En cada punt s'han descrit les característiques més importants, com són: ús del sòl, temperatura, vegetació, textura al tacte i altitud. A més s'han fet els assajos de camp següents: mesura del CO₂ amb una sonda de captació de gasos i s'ha comprovat la presència de carbonats amb àcid clorhídric. També s'ha pres una mostra de sòl de cada punt.

Per tal de poder fer una localització més acurada dels punts de mostreig s'ha utilitzat un aparell de georeferenciació GPS II plus (Garmin™) de manera que en tot moment s'ha tingut coneixement de les coordenades UTM i l'altitud del punt on s'ha treballat.

En tots els punts observats s'ha pres una mostra de sòl i una segona mostra inalterada amb un cilindre. Prèviament a la presa de mostra amb una pala es treu el que correspon a "litterfall", és a dir, fullaraca que ha caigut de la vegetació i encara no es troba en estat de descomposició. En altres punts molt pedregosos feia falta retirar les petites pedres que es trobaven a la part superficial del sòl. Pel mostreig s'ha utilitzat una pala i bosses de plàstic amb tancament hermètic correctament etiquetades on s'ha conservat el sòl fins el seu processament. Per prendre la mostra inalterada s'ha fet ús d'anells de mostreig de 5 x 5 cm (alçada x diàmetre) i volum aproximat de 100 cm³ de la casa Eijkelkamp, i un martell per introduir els anells al sòl (figura 14). S'ha posat l'anell en posició perpendicular a la superfície del sòl i s'ha picat suament i sempre en el mateix punt per tal de no moure l'anell en altres direccions que no siguin la direcció vertical i evitar així l'alteració de la mostra.



Fig. 14: Mostreig de sòl amb anell cilíndric

Elaboració de base de dades i tractament informàtic amb SIG

Un cop s'ha tingut tota la informació de camp recopilada, s'ha creat una base de dades amb el programa Excel, per a poder accedir mitjançant un sistema informació geogràfica (SIG). S'ha utilitzat el SIG ArcView 9.0, mitjançant el qual i amb l'assessorament del SIGTE (Servei d'Informació Geogràfica i Teledetecció) de la Universitat de Girona, s'ha processat les dades i s'ha elaborat una sèrie de mapes temàtics (Annex II) que resumeixen els resultats de les mesures de camp i laboratori. D'aquesta manera s'ha tractat de forma dinàmica les dades que s'han obtingut associant-les a la seva localització geogràfica i optant així a una visió amb una perspectiva global i referenciada en l'espai.

4.1.2 Determinació de la temperatura

La determinació de la temperatura és important ja que està directament relacionada amb l'activitat dels microorganismes del sòl. Aquesta mesura té doncs l'objectiu de poder ser relacionada, si el cas, amb la mesura de CO₂ al camp. La determinació s'ha fet mitjançant un termòmetre d'infraroig (Raytek) (figura 15). Aquest aparell té forma de pistola de manera que s'apunta al punt on es vol prendre la mesura i es prem el botó. L'aparell ens dona una lectura instantània de la temperatura superficial de l'objecte. Per això en tots els punts es va mesurar just després de treure la capa superficial de fulles o pedres que cobria el sòl.



Fig. 15: Mesura de la temperatura del sòl amb termòmetre IR

4.1.3 Determinació “in situ” del CO₂

Per fer la determinació de la concentració del CO₂ al camp s'ha utilitzat un aparell de mesura de gasos de la casa RAE Systems (model PGM-54) amb el qual es pretén fer mesures “in situ” de la concentració de gas que hi ha a l'espai porós del sòl. El protocol que s'ha seguit és el següent, un cop s'ha extret la mostra de sòl amb l'anell cilíndric, el forat s'ha aïllat de l'atmosfera externa amb una tapadora de plàstic que tenia un forat per on s'ha introduït la sonda del mesurador de CO₂. Aquest mesurador està compost per una bomba que aspira la mostra i un detector de CO₂ que funciona pel principi d'infraroig. En cada punt s'ha deixat l'aparell mesurant durant 3 minuts, temps que s'ha considerat suficient per tal que els gasos dels porus del sòl entressin en equilibri amb la nova atmosfera aïllada que s'ha creat en el cilindre i s'ha pres la mitja de les mesures de l'últim minut.

En la il·lustració (fig. 16) podem observar el muntatge que s'ha fet i que s'ha utilitzat d'igual manera per tots els punts.



Fig. 16: Mesura de CO₂ al camp amb sonda de gasos RAE

4.1.4 Presència de carbonats

Per tal de veure si hi ha presència de carbonats en els sòls en estudi, s'ha realitzat una prova de camp posant unes gotes d'àcid clorhídric (HCl) en contacte amb el sòl i veure si hi ha efervescència. Aquesta efervescència pot atribuir-se a la reacció que es dona entre el carbonats i l'àcid clorhídric on es desprèn CO₂ en forma gasosa.

En la figura 17 es descriu les reaccions químiques que tenen lloc en aquest prova entre els protons (H^+) que provenen de l'àcid clorhídric (HCl) i els carbonats que formaran bicarbonat. Aquest bicarbonat si segueix estant en un medi àcid s'associarà a un altre protó formant àcid carbònic (H_2CO_3). Aquest àcid carbònic és molt inestable i enseguida es dissocia donant aigua (H_2O) i diòxid de carboni gasós (CO_2) que produeix aquest borbolleig.

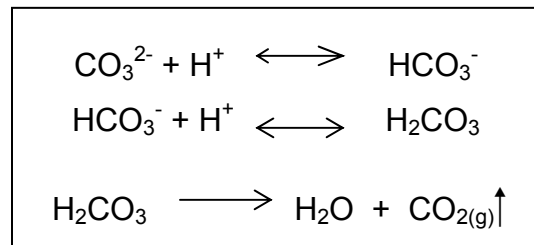


Fig. 17: Reactivitat dels carbonats en presència d'àcid clorhídric

4.1.5 Textura

Per establir la textura de les mostres de sòl s'ha realitzat la prova al tacte. En aquest assaig s'agafa la mostra i s'eliminen els grans majors de 2 mm, s'humifica la mostra fins al punt d'adherència per tal que es pugui donar forma i es segueix el protocol que es detalla a la figura 18 (versió simplificada dels criteris de Porta, 2005).

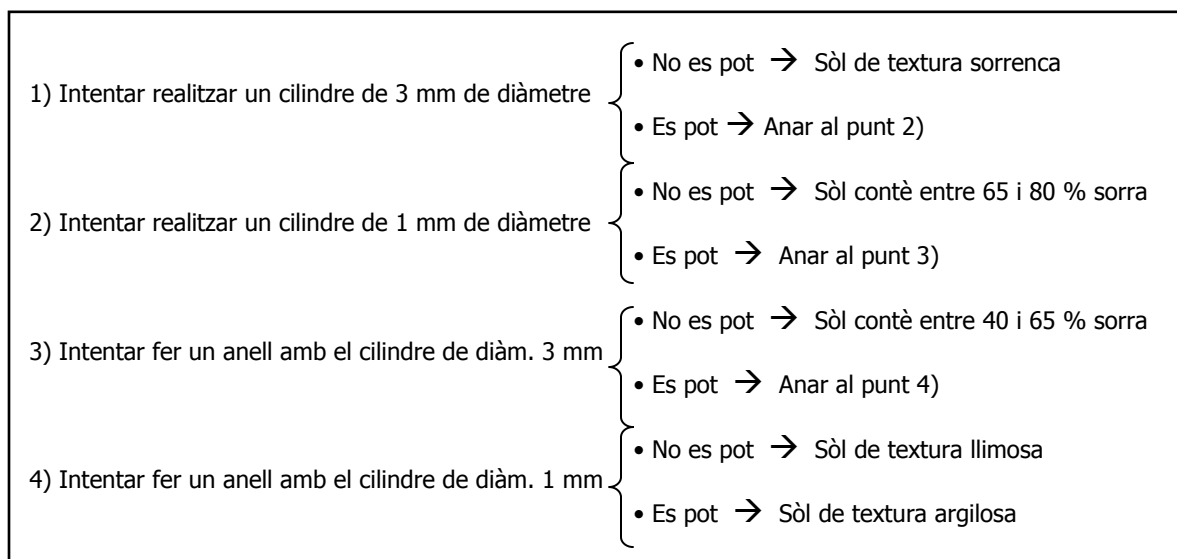


Fig. 18: Diagrama del protocol per la determinació de la textura

4.2 Mètodes de laboratori

Tal com ja s'ha descrit anteriorment en el subapartat *Campanya de camp*, en el camp s'han agafat dues mostres, una mostra inalterada amb un anell de 100 cm³ i una altra mostra amb una pala i bossa de plàstic. Amb la mostra de sòl inalterada s'han fet les següents anàlisis: determinació de la humitat del sòl, determinació de la densitat aparent, determinació del contingut d'aigua a capacitat de camp i la determinació de la respiració del sòl. Amb la segona mostra s'han fet la resta d'anàlisis, és a dir, mesura del pH i la conductivitat elèctrica i determinació del carboni oxidable.

La mostra de sòl necessita un pretractament abans d'iniciar les analítiques. Aquest pretractament consisteix en escampar la mostra sobre una fulla de paper de forma que quedi una capa fina i es deixa assecar a l'aire en una cambra neta i seca fins a pes constant. La mostra de sòl inalterada continguda en un anell no requereix cap tipus de pretractament abans de fer la determinació de la humitat del sòl a l'estufa.

4.2.1 Determinació de la humitat del sòl

S'ha determinat el contingut d'humitat per gravimetria. Les mostres contingudes en el cilindres han estat pesades i s'han deixat secar a una estufa a 40 °C durant 7 dies. S'ha optat per fer aquest assecat a una temperatura moderada per tal d'incidir menys en la microflora del sòl i en la possible mineralització del carboni, i així posteriorment poder fer una avaluació de l'activitat d'aquesta microflora. Un cop les mostres han estat seques s'han tornat a pesar i s'ha calculat la diferència de pes que correspon a l'aigua que contenia el sòl. La humitat del sòl s'ha expressat en percentatge respecte el pes sec de la mostra (figura 19).

$\% \text{ Humitat} = \frac{P - P'}{P'} \times 100$	on: P : pes en g de sòl húmit P' : pes en g de sòl sec
---	---

Fig. 19: Càlcul del % d'humitat en la mostra

4.2.2 Determinació de la densitat aparent

El comportament del sòl depèn a més de la mida i la forma de les partícules, de la forma en com estan disposades en l'espai i de com estan unides. Entre aquestes partícules i/o agregats, hi ha un sistema d'espai porós, ocupat generalment per aigua i aire. Un dels paràmetres indicadors d'aquesta porositat és la densitat aparent, que mesura la relació entre la massa i el volum de les mostres inalterades del sòl. Com les mostres han estat preses amb cilindres de volum conegut i es coneix el pes del sòl sec es pot calcular la densitat aparent (figura 20).

$\text{Densitat aparent} = \frac{P'}{V}$	on: P' : pes en g de sòl sec V : volum en cm^3 de la mostra de sòl
--	--

Fig. 20: Càlcul de la densitat aparent

4.2.3 Determinació de la porositat

La porositat és el volum de sòl que és ocupat pels porus. S'ha calculat indirectament a partir dels de la densitat aparent i assumint que la densitat real és de $2,6 \text{ g/cm}^3$ (Porta et al, 2003) segons s'indica a la figura 21.

$\% \text{ Porositat} = \frac{d_{\text{real}} - d_{\text{aparent}}}{d_{\text{aparent}}} \times 100$

Fig. 21: Càlcul de la porositat del sòl

4.2.4 Determinació de l'aigua continguda a capacitat de camp (CC)

S'ha considerat el contingut d'aigua a capacitat de camp, aquell que resta en el sòl després de deixar drenar l'aigua gravitacionalment 24 hores. El procediment ha consistit en saturar d'aigua un volum de sòl de pes conegut (el contingut en els cilindres) i deixar que dreni l'aigua durant 24 hores ("overnight"). El dia següent s'han agafat els cilindres i s'han pesat de manera que per diferència de pes s'ha calculat l'aigua que ha quedat en el porus (figura 22).

$\% \text{ C. C.} = \frac{P - P'}{P'}$	on: P : pes en g de sòl humit després de deixar drenar l'aigua overnight P' : pes en g de sòl sec
--	--

Fig. 22: Càlcul per la determinació de l'aigua continguda a capacitat de camp

4.2.5 Determinació del pH del sòl

El coneixement del pH del sòl permet establir una primera aproximació de les característiques químiques, concretament el grau de saturació de bases. De l'estat de saturació es dedueix les propietats elèctriques del complex col·loïdal i la seva relació amb els continguts d'elements nutritius assimilables.

La mesura del pH s'ha fet en una suspensió del sòl en aigua destil·lada, 10 g de sòl en 25 ml d'aigua destil·lada i s'ha barrejat 30 minuts fins que s'ha considerat que estava en equilibri. Un cop transcorreguts els 30 minuts s'ha procedit a fer la mesura mitjançant un mètode potenciomètric on s'ha mesurat el potencial elèctric que es crea en la membrana de vidre de l'elèctrode i que és funció de l'activitat dels ions d'hidrogen a ambdós costats de la membrana. La mesura s'ha realitzat amb un pH-metre Crison (model 507)

4.2.6 Determinació de la conductivitat elèctrica (CE)

La conductivitat elèctrica que presenta l'extracte aquós d'un sòl, es basa en una estimació indirecta del contingut de sals solubles del sòl i depèn directament de l'activitat i tipus de ions dissolts així com de la temperatura del líquid.

Per facilitar la determinació s'ha utilitzat la mateixa suspensió de 10 g de sòl en 25 ml d'aigua destil·lada barrejada durant 30 minuts, que s'ha utilitzat en la determinació del pH. Aquesta és una mesura exploratòria i en el cas que es presentés una CE elevada es procediria a determinar-la en l'extracte de pasta saturada. S'ha utilitzat un elèctrode selectiu de ions de la casa Crison (model 524)

La conductivitat elèctrica, al dependre directament de la temperatura, fa imprescindible tenir-la en compte en el moment en què es determinen les diferents lectures, ja que en funció d'aquesta s'haurà d'aplicar un o altre factor de correcció (figura 23).

$E.C (25\text{ }^{\circ}\text{C}) = E.C_t \times ft$	on: E.C : conductivitat elèctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) E.C _t : cond. elec. a una determinada temperatura ft : factor de correcció
--	---

Fig. 23: Càlcul per la determinació de la conductivitat elèctrica

4.2.7 Determinació del carboni oxidable i la matèria orgànica

S'ha realitzat pel mètode d'oxidació per via humida. Aquesta mètode es basa en l'oxidació del carboni orgànic amb dicromat potàssic ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) en medi àcid, i la valoració de l'excés d'àcid cròmic amb una sal de ferro ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), anomenada sal de Mohr. L'estequiometria de la reacció és la següent:



En un erlenmeyer de 250 ml s'ha pesat 1 g de sòl sec finament triturat i ben homogeneïtzat i s'ha afegit 10 ml de dicromat potàssic 1 N. A continuació s'ha addicionat 20 ml d'àcid sulfúric concentrat (sota una campana extractora) i s'ha barrejat amb compte. La mescla s'ha deixat reposar durant 30 minuts i un cop transcorregut aquest temps s'ha addicionat 150 ml d'aigua destil·lada i 10 ml d'àcid ortofosfòric concentrat. A continuació s'ha addicionat 10 gotes d'indicador de difenilamina i s'ha valorat l'excés de dicromat amb la solució de sal de Mohr 1 N. La valoració arriba al punt d'equivalència quan la solució vira de blau a verd maragda. S'ha fet una mostra de blanc en cada sèrie de valoracions amb les mateixes condicions, ja que la sal ferrosa s'oxida a sal fèrrica per simple contacte amb l'aire. En el cas de les mostres amb molta quantitat de matèria orgànica s'ha addicionat, a part dels 20 ml d'àcid sulfúric, 20 ml de dicromat potàssic en comptes de 10 ml per tal de que es pogués arribar a veure el viratge, i s'ha realitzat un altre blanc per tal de poder-ho comparar en aquestes noves condicions.

Tenint en compte l'estequiometria de la reacció de més amunt, s'observa que 1 meq. de $K_2Cr_2O_7$ és igual a 1 meq. de C i sabent que 1 meq. pesa 3 mg C, resulta que el contingut de carboni en 1 g de sòl es pot calcular com es mostra a la figura 24.

$\% \text{ C oxid} = \frac{3 \cdot (A - B)}{A}$	on: A: ml de sal de Mohr consumits en la valoració del blanc B: ml de sal de Mohr consumits en la valoració del sòl
---	--

Fig. 24: Càlcul per la determinació del carboni oxidable

Per a obtenir el percentatge de matèria orgànica s'ha utilitzat el factor de conversió de Van Benirnelen en que es considera que el C oxidable és el 58 % de la matèria orgànica. Aquest factor és vàlid per percentatges de carboni oxidable menors de 5,8 % (figura 25).

$\% \text{ M.O.} = 1,724 \times \text{C oxidable (\%)} \quad \text{si } \% \text{ C oxidable} < 5,8$
--

Fig. 25: Càlcul del percentatge de M.O a partir del percentatge de C oxidable

4.2.8 Determinació de l'activitat respiratòria del sòl

El paràmetre més comunament utilitzat per poder quantificar l'activitat microbiana en els sòls és la respiració del sòl. La mesura de la respiració del sòl es fa mitjançant la quantificació del CO_2 que es produeix com a resultat de l'activitat microbiana (Alef and Nannipieri, 1998). La respiració del sòl es veu limitada pels següents factors: humitat del sòl, temperatura, disponibilitat de nutrients i estructura del sòl.

Es diferencien dos tipus de respiracions: la respiració basal, que és la respiració que es produeix sense afegir cap tipus de substrat orgànic; en canvi la respiració amb substrat induït (Substrate-induced respiration SIR) és la respiració en què s'afegeix un substrat com glucosa, aminoàcids, etc. (Alef and Nannipieri, 1998).

En el cas del treball s'ha mesurat la respiració basal. Abans de fer la mesura de la respiració s'ha procedit a humitejar tots els cilindres d'igual manera, per tal de posar tots els sòls en les mateixes condicions. Per tal fet, s'han portat els cilindres a saturació fins que l'aigua ha ocupat tots els porus (macroporus i microporus) del sòl i ha humectat la part superior del cilindre. Posteriorment s'ha deixat drenar l'aigua dels cilindres durant 24h, de manera que l'aigua retinguda en els macroporus ha caigut per la força de la gravetat i ha estat reemplaçada per l'aire de l'ambient, necessari per a què els microorganismes puguin dur a terme el seu metabolisme. La temperatura a la que s'ha realitzat l'experiment ha estat 25 °C.

El mètode de quantificació de la respiració del sòl mitjançant la mesura de CO_2 que s'ha realitzat és el mètode dels pots tancats (*Estimation of Soil Respiration in Closed Jars*, Isermeyer 1952; citat per Alef and Nannipieri, 1998). En aquest mètode es quantifica la quantitat de CO_2 que queda atrapat mitjançant una solució d'hidròxid sòdic (NaOH) amb la qual reacciona. El NaOH és valorat amb una solució d'àcid clorhídric (HCl). En el present treball, i basant-se en el mateix principi s'ha optat per fer la valoració del CO_2 emès mitjançant la sal sòdica "soda-lime" (Fluka ref. 72073), que té la capacitat d'absorbir el CO_2 i la humitat (Edwards, 1982). Per tal objectiu s'ha posat una certa quantitat de la sal de "soda-lime" a l'estufa a 100 °C i així s'ha eliminat

la quantitat d'aigua que pogués tenir absorbida. Posteriorment s'ha pesat en una balança analítica amb una precisió de la dècima del mg (10^{-4} g) una quantitat determinada de "soda-lime", s'han posat en crisols de ceràmica i s'han introduït en els recipients tancats que contenen els cilindres de 100 cm^3 amb el sòl. S'han deixat incubar durant 3 dies. Passat aquest temps s'ha tret el crisol i s'ha posat a l'estufa a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ "overnight" per tal d'eliminar l'aigua que la "soda-lime" hagi pogut absorbir de l'ambient. Al dia següent s'ha tornat a pesar la "soda-lime", de manera que per diferència de pes abans i després de l'assecatge obtenim el CO_2 absorbit durant les reaccions químiques que es produeixen entre el CO_2 i els compostos presents en la "soda-lime" (figura 26)

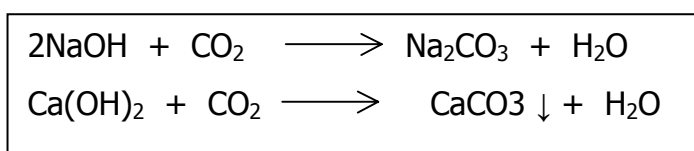


Fig. 26: Reactivitat entre CO_2 i sal "soda-lime"

La quantitat d'aigua es pot determinar i, per tant, es pot fer ús d'un factor de correcció, ja que per cada mol de CO_2 s'allibera un mol d'aigua. Sabent que el pes molecular del CO_2 és 44 i el de l'aigua 18, en la reacció resultant s'obté un guany en la "soda-lime". No obstant, al secar la "soda-lime", l'aigua de la reacció es perd juntament amb l'aigua absorbida per l'entorn. Per tant, amb els pesos de "soda-lime" abans i després de l'assecamment s'infravalora el valor de CO_2 absorbit. Teòricament només es necessita multiplicar el valor del CO_2 obtingut gravitacionalment per un factor de 1,4, $((44+18)/44)$, per obtenir els valors de CO_2 produïts.

A l'annex I es pot observar imatges de la determinació de l'activitat respiratòria del sòl.

4.2.8 Determinació del segrest de Carboni (coeficient de mineralització)

Per tal de determinar la capacitat d'un sòl de segrestar carboni de la matèria orgànica s'ha utilitzat el coeficient de mineralització del carboni (Q). Aquest coeficient representa la relació entre el carboni produït en la respiració del sòl i el carboni oxidable de la mostra. S'ha utilitzat la fórmula proposada per Dommergues (1960) per calcular aquest coeficient (figura 27).

$\text{Coef. miner.} = \frac{C(\text{CO}_2) \times 100}{C \text{ oxid}}$	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <p>on: $C(\text{CO}_2)$: carboni contingut en el CO_2 respirat en $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$</p> <p>$C \text{ oxid}$: carboni oxidable en $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$</p> </div> </div>
--	---

Fig. 27 Càlcul del coeficient de mineralització de carboni (Q)

Aquest paràmetre és el que utilitzarem per valorar la capacitat del sòl de segrestar o capturar el carboni de la matèria orgànica.

4.3. Tractament estadístic

A partir de les dades obtingudes s'ha realitzat un tractament estadístic per a poder establir quins paràmetres mesurats del sòl estan més relacionats amb la capacitat de segrest de carboni així com quina gestió del sòl és la més apropiada per a fomentar aquest fet. El programa de tractament de dades que s'ha utilitzat és STATISTICS versió 7.1 de l'empresa StatSoft Inc.

S'ha realitzat una matriu de correlació a partir de la qual s'avalua quines correlacions es presenten entre les diferents variables estudiades. També s'ha fet un anàlisi de grups (anàlisi factorial) de manera que en primer lloc es pot aconseguir reduir el nombre de variables de treball, estipulant un nombre de factors que expliquin com a mínim el 90% de variància de les variables i en segon lloc permet detectar una possible estructuració entre les variables, reunint-se en un sol factor aquelles que queden relacionades amb un pes factorial més gran.

5. Resultats

5.1. Delimitació de les unitats d'avaluació del sòl (LEU) i càlcul del nombre de punts d'observació

S'ha realitzat una campanya de mostreig amb el ortofotomapa de Sant Feliu de Guíxols (ICC, 2005) escala 1:25000 full 366-2-1, en una zona amb una extensió de 486 cm², que correspon a 3013 ha (figura 28). S'ha procedit a delimitar diverses unitats d'avaluació de sòls en funció de la vegetació, pendent, geologia i ús del sòl. Les unitats d'avaluació de sòl que s'han considerat són cinc:

La LEU 1 correspondria a una zona forestal del terme municipal de Santa Cristina d'Aro amb fortes pendents i vegetació típica del bosc mixta mediterrani. És la vessant sud de les Gavarres.

La LEU 2 correspondria a una altra zona forestal també de la vessant sud de les Gavarres però dintre del terme municipal de Castell d'Aro.

La LEU 3 correspondria a una zona bàsicament agrícola de la plana fluvial del Riudaura. Aquí es troben camps de cultiu en actiu i també d'abandonats.

La LEU 4 correspondria a la zona forestal del massís de l'Ardenya. Aquest massís situat a la zona més occidental i meridional del territori en estudi s'estén fins a la costa. Els boscos d'aquesta zona han sofert diversos incendis al llarg de la història més recent, com són els recents incendis del gener del 2003 que van afectar 620 ha (Àncora, 2003)

La LEU 5 és una zona on s'hi observen diferents usos de sòl, com són una urbanització, un camp de golf, i diverses petites extensions amb herbes al costat de la variant de Llagostera a Platja d'Aro (C-65).

En la documentació fotogràfica de l'annex I es poden trobar diferents imatges que representen la diferent gestió que s'ha observat en cada una de les LEUs en estudi.



Fig. 28: Ortofotomapa amb delimitació de les LEUs estudiades

Pels objectius marcats s'ha considerat oportú agafar l'expressió proposada per Nieves i col. (1985), citat per Porta i al. (2003) pel fer el càlcul del nombre d'observacions.

$$dn = 4 / (K \cdot n^2) \text{ observacions/ha}$$

Si s'agafa com a valor de l'eficiència edafològica, $K=10$, ja que és una zona amb la qual estem familiaritzats i de l'extensió a mostrejar la meitat correspon a camps agrícoles i l'altra meitat a zones forestals amb boscos no gaire densos.

$$dn = 4 / (10 \cdot 2,5^2) = 0,064 \text{ obs/ha}$$

Com volem cartografiar 3013 ha

$$0.064 \text{ obs/ha} \times 3013 \text{ ha} = 192 \text{ observacions}$$

Es determina la densitat real (dr) amb un percentatge $a=35\%$, acceptable pels objectius del treball.

$$dr = a/25 \cdot K \cdot n^2 \text{ observacions/ha}$$

$$dr = 35 / (25 \cdot 10 \cdot 2,5^2) = 0,022$$

$$0.022 \text{ obs/ha} \times 3013 = 66 \text{ obs.}$$

El nombre de d'observacions (determinacions) a realitzar seran sobre 66 mostres.

5.2. Determinació de les característiques observades al camp

Tal com s'ha introduït a l'apartat de mètodes les característiques que s'han observat al terreny han estat les següents: ús del sòl, vegetació, textura, presència de carbonats, mesura de CO₂ al camp, temperatura i altitud.

En els sòls corresponents a la LEU 1 s'ha observat una vegetació arbòrea composta per: alzina, alzina surera, pins i un sotabosc d'arbustos de boix i bruc. En les zones més humides també s'ha observat heura, falgueres i esbarzers (taula 3). La textura d'aquests sòls ha estat sorrenca i franc-sorrenca. En cap cas s'ha obtingut un resultat positiu en l'assaig de presència de carbonats. La mesura de CO₂ en el camp ha donat valors entre 590 i 1560 ppm, amb una mitja de 1028,75 ppm i una desviació estàndard de 286,26 ppm. Pel que fa a la temperatura el sòl que ha presentat una temperatura més baixa ha correspost a 18 °C, la més alta ha estat de 24 °C i el promig de temperatures de tots els sòls mostrejats en aquesta LEU ha estat de 20,7 °C. Les altituds dels punts han oscil·lat entre 39 m i 224 m.

Punt	Ús del sòl	Vegetació	Textura	Presència de carbonats	Mesura de CO ₂ (ppm)	Temp.	Altitud (m)
1.5	forestal	pi, suro, heura, falguera	franc-sorrenc	NO	1095	20	111
1.6	forestal	boix, bruc i heura	sorrenc	NO	1180	21	171
2.1	forestal	suro, pi, boix, bruc	sorrenc	NO	1110	22.5	39
2.3	forestal	suro, boix	franc-sorrenc	NO	1035	23.5	70
2.4	forestal	esbarzers	franc-sorrenc	NO	1560	24	69
2.5	forestal	suro, pi, boix	sorrenc	NO	1280	23	133
2.8	forestal	suro, arboç i bruc	franc-sorrenc	NO	670	18	224
2.9	forestal	Suro, bruc, falguera i heura	sorrenc	NO	1230	19.5	128
2.10	forestal	alzina, suro, falgueres	sorrenc	NO	590	19	199
3.8	forestal	suro, bruc	sorrenc	NO	865	19	150
3.9	forestal	suro, bruc, romaní	sorrenc	NO	1065	21	117
4.8	forestal	suro, boix, bruc	franc-sorrenc	NO	665	18	68

Taula 3: Dades de les mesures i observacions al camp en la LEU 1

Finalment no ha estat possible mostrejar cap punt en la LEU 2, degut a la difícil accessibilitat en els punts de mostreig d'aquella zona forestal.

La LEU 3 correspon principalment a una zona agrícola. Bàsicament s'ha trobat cultiu de cereals (ordi i blat), panís, un camp abandonat amb ceps, i tres punts amb camps abandonats on havia sortit vegetació espontània. La textura ha estat sorrenca i franc-sorrenca. No s'ha detectat cap punt amb presència de carbonats. Els valors de la mesura de CO₂ in situ s'han distribuït entre 635 a 1595 ppm amb un valor promig de 922,5 ppm i una desviació estàndard de 278, 51 ppm. Les temperatures en que s'ha fet la mesura han estat dintre de l'interval de 20 a 30 °C a excepció dels punts 2.2 i 3.3 que han presentat els valors màxim i mínim respectivament i que s'han situat per fora d'aquest interval que s'ha procurat de 20 a 30 °C. En la taula 4 es poden observar els resultats obtinguts. Les altituds de mostreig han estat baixes. La cota més baixa ha estat als 14 m i la cota més alta als 55 m per sobre el nivell del mar.

Punt	Ús del sòl	Vegetació	Textura	Presència de carbonats	Mesura de CO ₂ (ppm)	Temp.	Altitud (m)
2.2	agrícola	cereal	sorrenc	NO	775	34	55
3.1	agrícola abandonat	vegetació espontània	sorrenc	lleugera	720	25	39
3.2	agrícola	cereal (camp segat)	sorrenc	NO	635	19	48
3.3	agrícola	cereal	franc-sorrenc	NO	945	33	45
4.1	agrícola	camp llaurat	franc-sorrenc	NO	1060	22	46
4.2	agrícola	blat de moro	franc-sorrenc	NO	1595	22	36
5.5	agrícola abandonat	vegetació espontània	sorrenc	NO	660	26.4	39
5.6	agrícola	cereals	sorrenc	NO	860	26.4	21
5.7	pinada	pi blanc	franc-sorrenc	NO	805	27.6	33
5.8	pinada	pi blanc	franc-sorrenc	NO	845	27.3	20
5.9	agrícola llaurat	sense vegetació	franc-sorrenc	NO	765	27.3	14
6.5	plantació	plataner	sorrenc	NO	715	25.6	46
6.6	herbaci abandonat	sègol	sorrenc	NO	1030	24.9	25
6.7	arbòria mixta	alzina, xop	sorrenc	NO	960	24.1	30
6.8	forestal	roure	sorrenc	NO	1530	23.4	22
6.9	cultiu abandonat	ceps	sorrenc	NO	860	23.4	26

Taula 4: Dades de les mesures i observacions al camp en la LEU 3

Els punts observats de la LEU 4 han presentat com a espècies arbòries alzines, suros, pi blanc i pi pinyer (taula 5). Les espècies arbustives que s'han observat són el boix, l'arboç i el bruc. Per últim les espècies herbàcies han correspost a esbarzers, estepa borrera, lianes i romaní. La textura en tots els punts ha estat sorrenca i no hi ha cap punt que hagi presentat carbonats. La mesura del CO₂ al camp ha donat valors de 625 a 2115 ppm amb un valor promig de 1220,65 ppm i una desviació de 418 ppm. La temperatura en general s'ha mantingut en l'interval de 20 a 30 °C, a excepció d'alguns punts en que la temperatura ha estat inferior, com el punt 14.1 amb una temperatura de 18 °C i el punt 15.1 amb una temperatura de 19 °C. Pel que fa referència a l'altitud ressaltava que en aquesta LEU 4 s'ha mostrejat el sòl més elevat dels punts mostrejats en totes les LEUs a 340 m (punt 13.1). La mitja de l'altitud de mostreig a la LEU 4 ha estat de 177,39 m per sobre el nivell del mar.

Punt	Ús del sòl	Vegetació	Textura	Presència de carbonats	Mesura de CO ₂ (ppm)	Temp.	Altitud (m)
6.4	forestal	plataner	sorrenc	NO	1620	26.3	27
9.1	forestal	bruc, boix, suro	sorrenc	NO	1390	21	281
9.2	forestal	bruc, boix, suro	sorrenc	NO	755	25	279
9.3	forestal	suro, boix, bruc, lianes	sorrenc	NO	1610	21.5	195
9.4	forestal	suro, pi, bruc, romaní	sorrenc	NO	780	19.5	136
9.6	forestal	pi, suro, liana	sorrenc	NO	1350	26	87
9.7	forestal	pi, suro	sorrenc	NO	1130	22	49
10.1	forestal	suro, bruc, boix	sorrenc	NO	895	26	260
10.2	forestal	suro, pi cremat, bruc, liana	sorrenc	NO	1100	25	279
11.1	forestal	pi cremat, alzina rebrotant, bruc i arboç	sorrenc	NO	950	25	203
11.2	forestal	pi, arboç, bruc, falguera, esbarzer	sorrenc	NO	2045	21	161
11.3	forestal	alzina, arboç	sorrenc	NO	1300	22.5	122
11.4	forestal	alzina i pi jove, romaní	sorrenc	NO	1100	23	92
12.6	forestal	pi, alzina	sorrenc	NO	1380	21	85
12.7	forestal	pi, suro, bruc, marfull	sorrenc	NO	845	22	52
12.8	forestal	pi, herba, molsa	sorrenc	NO	1360	21	48
13.1	forestal	suro, bruc, arboç	sorrenc	NO	1400	19.5	340
13.2	forestal	suro, bruc, arboç	sorrenc	NO	860	22	290
13.4	forestal	bosc mixte mediterrani	sorrenc	NO	2000	27	296
13.5	forestal	bosc mixte mediterrani	sorrenc	NO	780	23.5	136
13.6	forestal	pi	sorrenc	NO	780	22	158
13.7	forestal	pi, alzina	sorrenc	NO	1110	21.5	108
14.1	forestal	suro, arboç, falgueres	sorrenc	NO	670	18	316
14.2	forestal	suro, arboç, bruc	sorrenc	NO	1240	22	295
14.3	forestal	suro, bruc	sorrenc	NO	1190	20.5	170
14.4	forestal	suro	sorrenc	NO	1695	23	246
15.1	forestal	suro, bruc	sorrenc	NO	1835	19	209
15.2	forestal	suro, arboç, bruc	sorrenc	NO	2115	20	262
15.3	forestal	suro, arboç, bruc	sorrenc	NO	1110	20	128
15.4	forestal	suro, pi, cactús	sorrenc	NO	625	21	76
16.2	forestal	suro, pi, arboç, bruc	sorrenc	NO	820	20	113

Taula 5: Dades de les mesures i observacions al camp en la LEU 4

En els 4 punts que s'han observat a la LEU 5 s'han trobat els següents ambients: un camp de golf, dos ambients de prat i un punt en una zona de gespa al costat d'una zona viària (taula 6). S'observa que la textura en dos punts ha resultat franc-sorrenca. També cal destacar que en dos altres punts s'ha detectat presència de carbonats. Les temperatures en el moment de mostreig han estat força elevades (de 25 a 33 °C) amb un promig de 30,6 °C. Les mesures de CO₂ també han estat molt elevades dos valors al voltant dels 900 ppm però dos valors de 1920 i 2460 ppm, és per això que s'ha obtingut en aquesta LEU el promig de mesures de CO₂ al camp més elevat (1556, 25 ppm). Pel que respecta a les altituds s'ha mostrejat des d'una cota mínima de 35 m a una cota màxima de 56 m.

Punt	Ús del sòl	Vegetació	Textura	Presència de carbonats	Mesura de CO ₂ (ppm)	Temp.	Altitud (m)
5.2	camp de golf	gespa	franc-sorrenc	NO	1920	25	37
5.3	prat	males herbes	sorrenc	SI	905	32	35
6.1	prat	poca herba	sorrenc	NO	940	33	56
6.2	rotonda	gespa	franc-sorrenc	SI	2460	32.5	54

Taula 6: Dades de les mesures i observacions al camp en la LEU 5

Dels resultats de tots els sòls de les diferents LEUs en conjunt ressalta que en tots els sòls mostrejats no s'ha observat presència de carbonats amb la reacció amb el HCl, a excepció dels punts 5.3 i 6.2 de la LEU 5, corresponents a un prat i una zona de gespa propera al costat d'una via de circulació.

Respecte la textura principalment tots els sòls la presenten sorrenca i uns pocs sòls la presenten franc-sorrenca, per tant es tracta de sòls arenosos.

La temperatura és un paràmetre que s'ha pres en el moment de mesurar el CO₂ al camp i s'ha procurat que es mantingués en un rang de 20 a 30 °C i no influís així tant en la determinació del CO₂, mostrejant a les hores abans del migdia i en dies ennuvolats. No obstant, hi han hagut algunes mesures on s'ha superat aquest rang de temperatures com els punts 2.2 i 3.3 de la LEU 3 i els punts 5.3, 6.1 i 6.2 de la LEU 5, que han estat mostrejats passat el migdia quan els sòls ja portaven varies hores d'insolació.

5.3 Determinacions al laboratori

Tal com ja s'ha explicat a l'apartat de mètodes les determinacions que s'han fet al laboratori han estat, humitat del sòl, contingut d'aigua a capacitat de camp deixant drenar l'aigua durant 24 hores, densitat aparent, i respiració al laboratori posant a incubar els sòls en pots tancats. També s'ha determinat el pH, la conductivitat elèctrica (CE) i la matèria orgànica mitjançant la determinació del carboni oxidable.

A continuació es mostren els resultats de les diferents determinacions agrupats per LEUs.

En la taula 7 es presenten els resultats de les mesures fetes al laboratori pels sòls de la LEU 1.

Punt	%Humitat	Capacitat de camp	d.a. (g/cm3)	% Porositat	pH actual	Conductivitat elèctrica (µS)	% C oxidable	% M.O	mg C 100g·dia	Coef de mineral
1.5	8.18	11.70	1.38	47.02	5.49	0,239	1.995	3.439	3.040	0,152
1.6	5.60	8.21	1.14	56.33	5.66	0,245	1.455	2.508	4.036	0,277
2.1	3.23	19.87	1.31	49.70	6.06	0,218	1.140	1.965	3.202	0,281
2.3	4.71	24.50	1.19	54.22	6.14	0,147	1.440	2.483	4.330	0,301
2.4	15.19	38.59	0.92	64.46	5.94	0,423	1.968	3.393	12.230	0,622
2.5	4.25	10.83	1.52	41.35	6.12	0,155	0.980	1.690	5.918	0,604
2.8	3.49	28.63	1.16	55.22	5.10	0,071	1.523	2.626	5.192	0,341
2.9	8.76	27.67	1.03	60.54	5.12	0,049	1.287	2.218	4.925	0,383
2.10	2.21	17.30	1.26	51.37	5.47	0,113	1.096	1.890	3.553	0,324
3.8	2.46	21.34	1.27	51.14	5.57	0,048	0.988	1.703	4.028	0,408
3.9	3.65	22.59	1.23	52.55	5.25	0,058	1.585	2.732	4.808	0,303
4.8	3.55	16.72	0.96	63.02	4.79	0,065			2.912	

Taula 7: Resultats de les mesures fetes al laboratori pels sòls de la LEU 1

Es pot observar que el sòl d'aquests punts en el moment de mostreig ha presentat unes humitats que varien de 2.21 % a 15.19 % amb un mitja de 5,44 % i una desviació estàndard (SD) de 3,70 %. Les humitats més altes han coincidit amb les capacitats de camp ($X=20,66\%$ i $SD=8,59\%$) i porositats més elevades ($X=53,90\%$ i $SD=6,64\%$), això es veu en els punts 2.3, 2.4, 2.8 i 2.9. El percentatge de C oxidable present en els diferents sòls de la LEU 1 té un valor mig de 1.41%, amb una desviació estàndard de 0,35 i uns valors màxim i mínim de 2,00% i 0,98% respectivament. Respecte la respirometria (emissió de CO₂ al laboratori) s'observa un valor molt elevat

12,23 mgC/100g·dia que correspon al punt 2.4 (punt molt ombrívol amb molta matèria orgànica). En els percentatges de matèria orgànica (m.o.) destaquen el valor màxim de 3,43% , seguit pel 3.39% del punt 2.4. El primer valor correspon al punt 1.5 i és destacable ja que en aquest punt s'han trobat les condicions més òptimes pel segrest de carboni dels punts d'aquesta LEU, una quantitat de matèria orgànica elevada (3,44%) i una respirometria lenta 3,04 mgC/100g·dia, i per tant un coeficient de mineralització de 0,152, el més baix de tots. El valor mínim de m.o. ha estat de 1,69 % que correspon al punt 2.5 amb la segona taxa de respiració més elevada 5,92 mgC/100g·dia i el valor del coeficient de mineralització més alt 0,604. Els coeficients de mineralització han oscil·lat de 0,152 a 0,622 amb una mitja de 0,363 i una desviació estàndard de 0,140.

En la taula 8 es pot observar els resultats dels punts analitzats en la LEU 3.

Punt	%Humitat	Capacitat de camp	d.a. (g/cm3)	% Porositat	pH actual	Conductivitat elèctrica (µS)	% C oxidable	% M.O	mg C 100g·dia	Coef de mineral
2.2	1.77	14.99	1.45	44.08	5.63	0,217	0.510	0.879	2.880	0,565
3.1	1.46	16.32	1.41	45.82	6.09	0,245	0.720	1.241	3.054	0,424
3.2	0.22	13.28	1.51	41.75	5.72	0,264	0.585	1.009	2.538	0,434
3.3	2.86	21.83	1.36	47.75	6.82	0,180	0.840	1.448	4.665	0,555
4.1	11.22	18.36	1.58	39.19	6.54	0,490	1.170	2.017	2.616	0,224
4.2	6.37	16.81	1.34	48.32	6.45	0,615	0.750	1.293	2.908	0,388
5.5	2.86	19.09	1.36	47.75	6.17	0,079	0.569	0.981	3.420	0,601
5.6	6.16	16.91	1.40	46.19	6.33	0,049	0.415	0.716	1.565	0,377
5.7	1.34	21.10	1.27	50.97	6.05	0,096	1.077	1.857	4.882	0,453
5.8	6.60	22.77	1.35	48.04	6.19	0,075	1.538	2.652	4.258	0,277
5.9	5.62	19.67	1.57	39.59	5.65	0,373	1.092	1.883	1.564	0,143
6.5	13.69		1.36	47.72	6.22	0,054	1.173	2.022	2.313	0,197
6.6	7.89	32.73	1.13	56.72	5.80	0,135	1.226	2.113	6.809	0,555
6.7	8.09	36.09	0.99	61.94	5.91	0,090	0.975	1.680	8.038	0,825
6.8	6.68	19.62	1.31	49.58	5.96	0,066	1.123	1.936	4.175	0,372
6.9	1.68	17.93	1.49	42.88	6.04	0,047	1.031	1.777	3.453	0,335

Taula 8: Resultats de les mesures fetes al laboratori pels sòls de la LEU 3

Es poden observar humitats que abasten entre 0,22% (punt 3.2) i 13,69% (punt 6.5) amb una mitja de 5,28% i una desviació estàndard de 3,82%. Les capacitats de camp que s'han calculat varien de 13,28% a 36,09% amb una mitja de 20,50% i una desviació estàndard de 6,22%. Les densitats aparents estan en un rang de 0,99 a 1,58 g/cm³ amb un promig de 1,37 g/cm³ ± 0,15. Els valors de la porositat es troben entre

39,19% i 61,94% i una mitja de 47,39% \pm 5,85. En els punts d'aquesta LEU 3 s'ha trobat un percentatge de C oxidable baix ($X=0,92$ % i $SD=0,31$) amb un màxim de 1,53% i un mínim de 0,41%. De la mateixa manera la quantitat de m.o. en aquests punts és baixa de 0,72% a 2,65%. Les respiracions al laboratori s'han trobat entre 1,56 i 8,04 mgC/100g·dia. Els coeficients de mineralització han resultat entre 0,143 i 0,825 amb un promig de $0,420 \pm 0,174$.

Els punts que han tingut els coeficients de mineralització més petits no sempre han estat els que tenien la quantitat de matèria orgànica (m.o.) més baixa, sinó que hi ha hagut punts en que tot i tenir un percentatge elevat de m.o., han presentat unes taxes de respiració al laboratori i uns coeficients de mineralització baixos (punt 6.5 i 4.1). Per contra s'observen punts amb quantitats de m.o. més petita i valors de (punt 3.3, 5.7 i 6.7)

A la taula 9 es presenten els resultats de les determinacions que s'han fet al laboratori amb les mostres de la LEU 4, on tots els punts corresponien a sòls forestals.

Punt	%Humitat	Capacitat de camp	d.a. (g/cm ³)	% Porositat	pH actual	Conductivitat elèctrica (μS)	% C oxidable	% M.O	mg C 100g·dia	Coef de mineral
6.4	27.38	37.66	1.05	59.65	5.82	0,176			9.415	
9.1	6.09	22.79	1.23	52.78	5.78	0,174	1.426	2.458	3.504	0,246
9.2	8.46	26.66	0.91	65.08	5.37	0,152	0.797	1.374	6.840	0,858
9.3	6.27	17.32	1.19	54.21	5.99	0,162	0.869	1.498	3.592	0,413
9.4	2.09	12.05	1.18	54.44	6.10	0,117	1.248	2.151	2.461	0,197
9.6	3.86	15.77	1.17	55.06	5.30	0,327	1.025	1.767	4.542	0,443
9.7	3.88	30.30	1.14	56.18	5.88	0,213	1.225	2.112	3.720	0,304
10.1	2.14	27.68	1.21	53.47	5.93	0,158	1.426	2.458	3.125	0,219
10.2	4.68	23.57	1.14	56.24	5.98	0,122	1.545	2.663	7.070	0,458
11.1	5.03	25.89	1.16	55.46	5.64	0,119	0.921	1.588	3.495	0,379
11.2	6.51	12.37	1.26	51.47	5.51	0,174			2.713	0,000
11.3	4.89	17.62	1.31	49.54	6.08	0,037	1.031	1.777	2.871	0,279
11.4	1.66	15.95	1.21	53.52		0,000		0.000	3.528	0,000
12.6	2.33	19.35	1.39	46.60	6.00	0,141	1.426	2.458	2.007	0,141
12.7	2.61	11.39	1.33	48.80	5.92	0,162	1.025	1.768	2.821	0,275
12.8	2.69	32.84	1.03	60.52	5.98	0,203	1.127	1.943	6.820	0,605
13.1	8.30	11.49	1.50	42.24	5.97	0,054	0.898	1.549	2.305	0,257
13.2	14.52	21.49	1.35	47.97	5.89	0,061	0.795	1.371	2.455	0,309
13.4	5.04	28.02	1.37	47.13	6.05	0,161	2.022	3.485	2.139	0,106
13.5	2.56	12.86	1.06	59.22	6.03	0,159	2.196	3.785	3.217	0,146
13.6	1.78	17.97	1.30	49.99	5.82	0,192	2.152	3.710	2.809	0,131
13.7	2.85	19.86	1.20	53.78	5.56	0,283	0.895	1.543	3.972	0,444

Taula 9: Resultats de les mesures fetes al laboratori pels sòls de la LEU 4

Punt	%Humitat	Capacitat de camp	d.a. (g/cm ³)	% Porositat	pH actual	Conductivitat elèctrica (μS)	% C oxidable	% M.O	mg C 100g·dia	Coef de mineral
14.1	24.82	36.18	0.87	66.42	5.55	0,097	1.650	2.845	8.687	0,526
14.2	5.59	20.29	1.07	59.02	5.39	0,156	1.310	2.258	6.391	0,488
14.3	7.12	16.48	0.99	62.03	5.56	0,237	0.967	1.668	4.744	0,490
14.4	3.72	19.52	1.17	54.94	5.63	0,287	2.116	3.648	3.074	0,145
15.1	5.45	16.18	1.20	53.79	5.73	0,059	1.270	2.189	2.034	0,160
15.2	10.35	18.39	1.24	52.39	5.75	0,056	1.665	2.870	3.362	0,202
15.3	0.97		1.45	44.38	5.46	0,136	1.769	3.050	1.135	0,064
15.4	2.12	12.28	1.30	49.99	5.81	0,075	1.508	2.599	2.173	0,144
16.2	5.19	13.14	1.33	48.81	6.02	0,052	0.877	1.512	1.759	0,201

Cont. Taula 9: Resultats de les mesures fetes al laboratori pels sòls de la LEU 4

S'observa que les humitats tenen un rang molt ampli de 1,66% a 27,38% amb una mitja aritmètica de 6,33% i una desviació estàndard amb un valor similar 6,08%, cosa que indica que en aquesta determinació hi ha hagut força acumulació d'errors. El contingut d'aigua a capacitat de camp varien de 11,39% a 37,66% amb una mitja de 20,45% i una desviació estàndard de 7,36%.

Els valors de les densitats aparents com ja ha passat amb les determinades en les LEUs anteriors presenten valors en un rang molt ampli, no propi de sòls arenosos, entre 0,87 i 1,50 g/cm³ amb un valor mig de $1,20 \pm 0,15$ g/cm³. El percentatge de porositat va de 42,24% a 66,42% amb una mitja de $53,71 \pm 5,67$ %.

Pel que fa al percentatge de C oxidable s'han obtingut valors entre 0,80% i 2,20%, que representa el valor més elevat de C oxidable que s'ha trobat. La quantitat de matèria orgànica present en aquestes mostres també és molt elevada amb un valor mig de $2,21 \pm 0,85$ %. El paràmetre de la respiració en aquests sòls ha variat en un rang de 1,14 a 9,42 mgC/100g·dia.

Per últim els valors del coeficient de mineralització s'han ubicat en un rang molt ampli des d'un valor mínim de 0,064 i a un valor màxim de 0,858. La mitja d'aquests coeficients de mineralització ha estat de $0,308 \pm 0,182$.

En aquesta LEU 4 s'han trobat molts sòls que presentaven quantitats de matèria orgànica i C oxidable elevats, però contràriament la respiració en el laboratori ha estat baixa. Exemples d'aquests sòls són els corresponents als punts 13.4, 13.5, 13.6, 14.4, 15.3 i 15.4.

Respecte els valors que s'han obtingut de les determinacions al laboratori del sòls dels punts de la LEU 5 (taula 10) es destaca el següent. Es presenten dos valors d'humitat molt elevats 26.49 i 18.55 % en els punts 5.2 i 6.2 respectivament, però s'ha considerat que al ser punts amb gespa tenen una situació d'irrigació artificial. La quantitat d'aigua a capacitat de camp té un rang de 19,71 a 44,03 % i les densitats aparents han resultat molt petites amb un promig de $1,02 \text{ g/cm}^3$ i una desviació estàndard de $0,19 \text{ g/cm}^3$. El percentatge de porositat ha estat molt elevat amb una mitja de 60,78 % entre les quatre mostres. El rang en que varia la quantitat de C oxidable va de 0,65% a 1,85% i el rang de la quantitat de m.o. de 1,11% a 3,19%. La determinació de la respiració al laboratori ha resultat amb un valor mínim de 3,52 mgC/100g·dia i 10,82 mgC/100g·dia. Per últim el coeficient de mineralització ha donat valors molt elevats amb un promig de $0'561 \pm 0,286$.

Punt	%Humitat	Capacitat de camp	d.a. (g/cm ³)	% Porositat	pH actual	Conductivitat elèctrica (μS)	% C oxidable	% M.O	mg C 100g·dia	Coef de mineral
5.2	26.49	31.44	0.95	63.46	6.42	1,149	1.849	3.188	7.863	0,425
5.3	4.62	44.03	0.79	69.67	6.47	0,579	1.597	2.752	10.815	0,677
6.1	2.22	20.82	1.14	56.10	6.57	0,295	1.440	2.483	3.524	0,245
6.2	18.55	19.70	1.20	53.88	6.35	0,480	0.645	1.112	5.795	0,898

Taula 10: Resultats de les mesures fetes al laboratori pels sòls de la LEU 5

Si s'observen els resultats de les analítiques fetes al laboratori per tots els sòls, s'aprecia que els resultats de densitat aparent de totes les LEUs són molt variats, des d'un valor mínim de $0,78 \text{ g/cm}^3$ a un valor màxim de $1,58 \text{ g/cm}^3$. La mitja és de $1,23 \text{ g/cm}^3$ amb una desviació estàndard de $0,18 \text{ g/cm}^3$.

Respecte el pH del sòl, s'observa que tots els sòls tenen pH àcids. El sòl que ha tingut el valor de pH més àcid ha estat de 4,79 i el pH més alcalí el de 6,82. Això ja era d'esperar quan l'assaig de presència de carbonats amb àcid clorhídric al camp ha donat sempre negativa a excepció de dos punts de la LEU 5.

Pel que fa a les humitats els valors es troben dintre d'un interval de 0.22 % a 27,38 % amb un valor promig de 6,23 % i una desviació estàndard (SD) de 5,78 %. Aquesta mesura s'ha de considerar que és una mesura puntual i que depèn de les condicions en que es trobava el sòl en el moment del mostreig.

El valor de la porositat ha variat de 39,19 % fins una porositat de 69,67 % en el cas del sòl del punt 5.3. La mitja de tots els valors de porositat ha estat de 52,59 % amb una SD de 6.82 %

La conductivitat elèctrica ha donat valors entre els marges de 0,037 a 1149 dS/cm, són en tots els casos sòls no salins.

Pel que fa als percentatges de C oxidable i matèria orgànica es troben dintre dels intervals de 0,42% a 2,20% i 0,72 a 3,78% respectivament. La respirometria al laboratori ha donat valors entre 1,14 mg C/100g sòl·dia i 12,23 mg C/100 g sòl·dia

El coeficient de mineralització pot prendre valors entre 0 i 1. En els sòls que s'han estudiat s'han obtingut valors entre 0,064 i 0,898 de manera que abarquen un ampli rang. S'ha d'indicar que aquest coeficient de mineralització és l'indicador invers de la capacitat de segrest que tenen els sòls, de manera que es pot dir que els sòls amb coeficients de mineralització baixos tindran gran capacitat d'absorció de CO₂ mentre que els sòls amb coeficients de mineralització alts tindran una baixa capacitat d'absorció. Si es calcula el valor promig del coeficient de mineralització per tots els sòls s'obté que és 0,366 amb una desviació estàndard de 0,189.

5.4 Tractament estadístic de les dades

Un cop obtinguts els resultats de les anàlisis de camp i de laboratori, s'ha procedit a fer el tractament estadístic amb el programari STATISTICS versió 7.1 de l'empresa StatSoft Inc.

Tot i haver plantejat el treball en diferents unitat d'avaluació de sòl (LEU), cosa que ha estat molt útil per sistematitzar el treball de camp; el tractament estadístic s'ha realitzat globalment amb totes les dades.

Primerament s'ha realitzat una matriu de correlació de totes les dades. També s'han generat dues matrius de correlacions agrupant les dades en dues classes, forestals i agrícoles degut a què són els dos usos de sòl predominants en la zona d'estudi. L'ús del sòl doncs no s'ha agafat com a variable sinó com a observació en el tractament estadístic.

Posteriorment s'ha realitzat un anàlisi factorial, de manera que s'han combinat tots els sòls en diferents grups per tal d'optimitzar la rellevància de les variables. S'ha repetit aquest anàlisi factorial amb els sòls subdividits segons l'ús que se'n faci, sòls forestal i sòls agrícoles; tot i que posteriorment s'ha vist que els resultats no han estat del tot satisfactoris.

Els paràmetres que s'han escollit per tractar són els que presenten més variabilitat:

1. Mesura de CO₂ al camp
2. Humitat (%)
3. Capacitat de camp (%)
4. Porositat (%)
5. pH actual
6. Conductivitat elèctrica
7. % C oxidable
8. % Matèria orgànica
9. Respiració del sòl (g C / 100g sòl)
10. Coeficient de mineralització

En la matriu de correlacions (taula 11) s'han analitzat les correlacions amb una significança del 99 % ($p < 0.01$) i del 95 % ($p < 0.05$) dels resultats de tots els sòls i s'han obtingut els següents resultats. En vermell es mostren aquelles correlacions amb un nivell de significança del 95%.

VARIABLES	Altitud	Mesura CO ₂	Humitat	Cap. camp	Dens. ap	Porositat	C oxidable	Resp. sòl	Coef. mine
Altitud	1,0000	,1571	,1256	,0179	-,1879	,1879	,2465	-,0274	-,1554
	p= ---	p=,239	p=,348	p=,894	p=,158	p=,158	p=,062	p=,838	p=,244
Mesura CO ₂		1,0000	,3679	,0943	-,1135	,1135	,1681	,1111	,0666
		p= ---	p=,004	p=,481	p=,396	p=,396	p=,207	p=,406	p=,620
Humitat			1,0000	,2825	-,3398	,3398	,1074	,4335	,2882
			p= ---	p=,032	p=,009	p=,009	p=,422	p=,001	p=,028
Cap.Camp				1,0000	-,6313	,6313	,1530	,7267	,5007
				p= ---	p=,000	p=,000	p=,251	p=,000	p=,000
Dens. ap					1,0000	-1,0000	-,2932	-,7440	-,4719
					p= ---	p= ---	p=,025	p=,000	p=,000
Porositat						1,0000	,2932	,7440	,4719
						p= ---	p=,025	p=,000	p=,000
C oxidable							1,0000	,1812	-,4403
							p= ---	p=,173	p=,001
Respiració sòl								1,0000	,7334
								p= ---	p=,000
Coef. miner									1,0000
									p= ---

Taula 11: Matriu de correlació de les dades

En la taula 11 es veu que la mesura de CO₂ al camp té una relació directa amb la humitat de la mostra determinada al laboratori, amb un nivell de significació d'un 99% ($p < 0.01$). En la figura 29, s'ha representat els valors de la mesura de CO₂ al camp en funció de la humitat de la mostra en el moment de la presa de mostra.

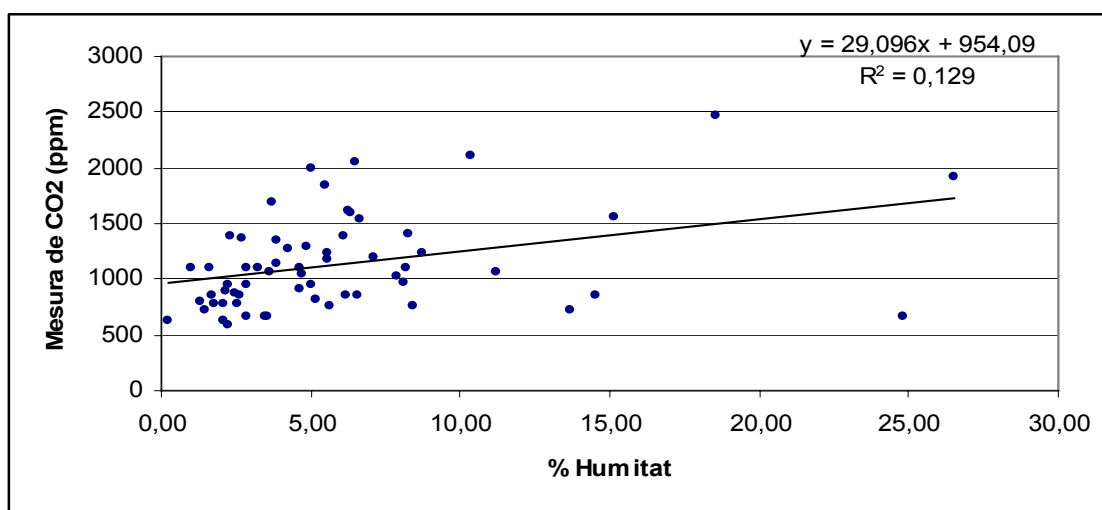


Fig. 29: Representació de la correlació entre la mesura de CO₂ al camp i la humitat

També s'observa una correlació entre la humitat i l'aigua a capacitat de camp amb un nivell de significança del 95 %, tal com ja s'havia observat en l'apartat de resultats. I d'igual manera surt correlacionada la humitat amb el percentatge de porus positivament i amb la densitat aparent negativament amb uns coeficients de correlació baixos ($r^2 = 0,340$).

La quantitat de C respirat pel sòl al laboratori ve correlacionat amb el percentatge d'humitat amb un coeficient de correlació de 0,434 i un nivell de significació del 99 %. El coeficient de mineralització també queda relacionat amb la humitat amb una significança del 95 %.

La densitat aparent, porositat i l'aigua a capacitat de camp influeixen negativament, en el cas de la primera, i positivament en el cas de les altres dues en la determinació de la respiració del sòl al laboratori i el coeficient de mineralització. En aquests casos la dependència és molt acusada amb valors pels coeficients de correlació de 0,744 (per la densitat aparent i porositat) i 0,727 (per l'aigua a capacitat de camp) per la respiració del sòl i una mica més baixos pel coeficient de mineralització 0,472 (densitat aparent i porositat) i 0,500 (aigua a capacitat de camp).

La porositat mostra una correlació positiva amb la quantitat de C oxidable amb un nivell de significança del 95%. A la seva vegada el C oxidable mostra una correlació inversa amb el coeficient de mineralització amb una significació del 99% i un valor del coeficient de correlació de 0,440. A continuació es representa el gràfic de correlació entre el coeficient de mineralització i la quantitat de C oxidable (figura 30).

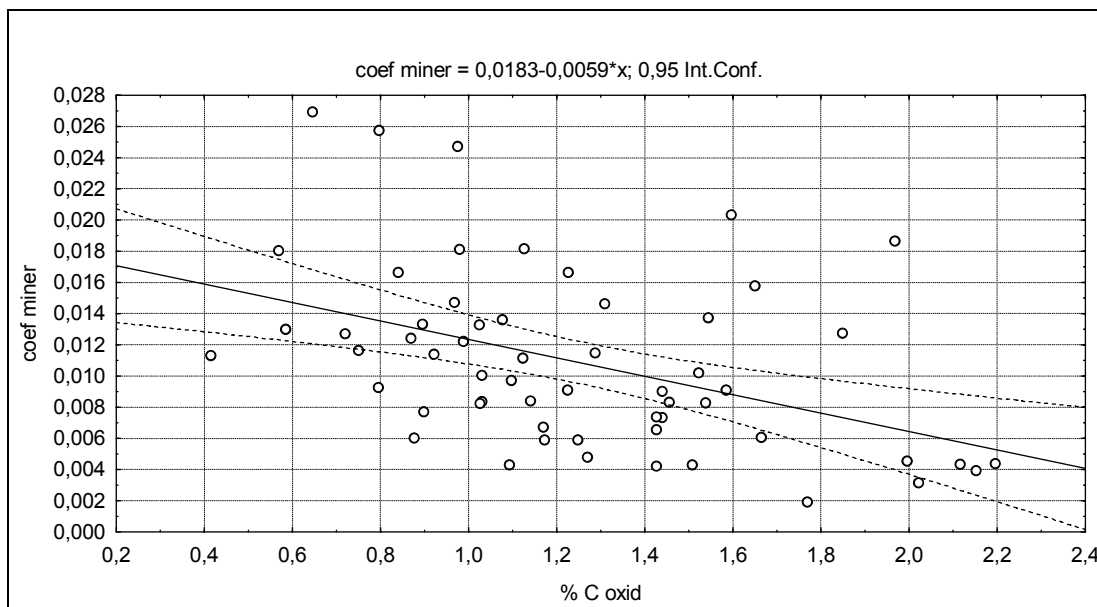


Fig. 30: Gràfic de correlació entre el coeficient de mineralització i la quantitat de C oxidable

Les dades obtingudes en la determinació de la respiració al laboratori tenen una relació proporcional amb el coeficient de mineralització amb un coeficient de correlació molt elevat de 0,733.

A continuació es mostren els resultats de l'anàlisi factorial. En la taula 12 es presenten els autovalors de cada factor. El primer factor per ell sol explica un 44,05% dels casos. El segon factor explica el 18,64% del casos i el tercer factor explica el 12,92% de tots els casos.

Valors	Autovalors	Varianza total (%)	Acumulació d'autovalors	Acumulació (%)
1	3,964714	44,05237	3,964714	44,05237
2	1,677682	18,64091	5,642396	62,69328
3	1,162854	12,92060	6,805249	75,61388

Taula 12: Autovalors de l'anàlisi factorial

El pes de les diferents variables en cada un dels factors es presenta en la taula 13. Si analitzem les variables que presenten una correlació tan negativa com positiva amb un coeficient major al 0,7 amb cada un dels factors extrets podem afirmar que el primer factor està correlacionat positivament amb la densitat aparent i negativament amb la quantitat d'aigua a capacitat de camp, la porositat i la respiració del sòl. Això significa que la densitat aparent governa la dinàmica de la retenció hídrica, porositat i per conseqüència la respiració del sòl. Es veu doncs que el factor 1 contribueix bàsicament en el control dels paràmetres físics i biològics del sòl. El factor 2 es veu determinat per la quantitat de matèria orgànica en el sòl. I per últim el factor 3 destaca la mesura de CO₂ al camp

VARIABLES	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Altitud	-0,129559	-0,627895	0,037765
Mesura CO ₂	-0,228776	-0,366762	0,751150
Humitat	-0,524896	-0,152143	0,597110
Cap. Camp	-0,794169	0,098751	-0,133893
Dens. apar	0,910947	0,129186	0,228347
Porositat	-0,910947	-0,129186	-0,228347
C oxidable	-0,220796	-0,803581	-0,282996
Respiració sòl	-0,914446	0,167348	-0,036762
Coef. mineralit	-0,666903	0,639446	0,192382
Var. Sp.	3,964714	1,677682	1,162854
Prp. Tot.	0,440524	0,186409	0,129206

Taula 13: Pesos de les variables en els factors

5.4.1 Tractament estadístic de les dades dels sòls forestals:

Donat que els diferents punts presentaven majoritàriament l'ús forestal i agrícola s'ha considerat convenient fer les matrius de correlacions agrupant els sòls segons la gestió que se'n fa. La matriu de correlació pels sòls forestals és la següent (taula 14)

VARIABLES	Altitud	Mesura CO2	Humitat	Cap. camp	Dens. ap	Porositat	C oxidable	Resp. sòl	Coef. mi
Altitud	1,0000	,1670	,3488	,0387	-,0893	,0893	,0874	-,0408	-,0641
	p= ---	p=,284	p=,022	p=,805	p=,569	p=,569	p=,577	p=,795	p=,683
Mesura CO2		1,0000	,0988	,0155	,0995	-,0995	,1603	-,0417	-,1298
		p= ---	p=,528	p=,921	p=,525	p=,525	p=,305	p=,790	p=,407
Humitat			1,0000	,4418	-,4085	,4085	,0322	,5148	,3439
			p= ---	p=,003	p=,007	p=,007	p=,838	p=,000	p=,024
Cap. camp				1,0000	-,6157	,6157	,0177	,6751	,5376
				p= ---	p=,000	p=,000	p=,910	p=,000	p=,000
Dens. ap					1,0000	-1,0000	-,0403	-,6895	-,5843
					p= ---	p= ---	p=,797	p=,000	p=,000
Porositat						1,0000	,0403	,6895	,5843
						p= ---	p=,797	p=,000	p=,000
C oxidable							1,0000	,0216	-,4756
							p= ---	p=,891	p=,001
Resp. sòl								1,0000	,8108
								p= ---	p=,000
Coef. miner									1,0000
									p= ---

Taula 14: Matriu de correlacions pels sòls forestals

S'observa una correlació de la humitat amb el contingut d'aigua a capacitat de camp (C.C) i la porositat de manera positiva i amb la densitat aparent de manera negativa tal com ja s'ha observat en l'estadística dels sòls tractats en conjunt. En aquest cas el coeficient de correlació amb les tres variables és elevat de 0.442 (per la C.C) i 0.409 (per la d.a. i la porositat)

Es veu que existeix una correlació molt clara entre la respiració del sòl i el percentatge d'humitat, però només en l'interval d'humitats del 0 al 10 %. En la gràfica de la figura 31 s'observa que a partir d'humitats majors d'un 10 %, no és tan clar que la respiració augmenti ja que es tenen dos sòls d'humitats similars (15 %), els quals un respira molt (sòl 2.4) i l'altre respira molt poc (sòl 13.2). Per últim tenim un sòl amb una elevada humitat que presenta una respiració elevada (sòl 14.1)

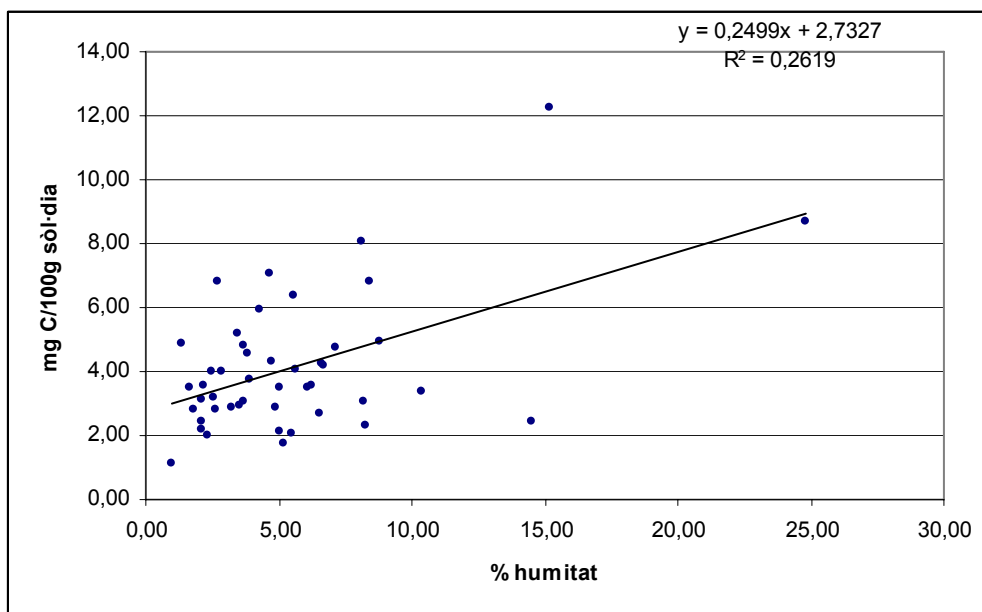


Fig. 31: Representació de la respiració del sòl en funció del percentatge d'humitat

Pel que fa al coeficient de mineralització també es veu una correlació positiva amb la humitat amb una significança del 95 %, és a dir, dins dels valors observats quant més humitat hi ha en el sòl més mineralització es produeix. De la mateixa manera la capacitat de camp i la porositat estan relacionades amb el coeficient de mineralització aquest cas amb nivells de significança del 99 %.

Per últim destacar que es torna a veure la correlació negativa entre el percentatge de C oxidable i el coeficient de mineralització amb un nivell de significança del 99 % que ja s'ha vist quan s'ha fet l'anàlisi de tots els sòls en conjunt.

Pel que fa a la relació entre el CO₂ mesurat al camp i la respirometria feta en el laboratori no es veu cap correlació entre ambdues variables, sinó que ha sortit arbitrari és a dir, hi ha paràmetres que no es controlen.

L'anàlisi factorial ha mostrat el següent (taula 15). Amb el primer factor es pot explicar el 44,97 % del casos, si s'addiciona la informació del segon factor s'explica un 61,70% del casos i amb el tercer factor s'explica el 75,61% de tots els casos.

Valors	Autovalors	Varianza total (%)	Acumulació d'autovalors	Acumulació (%)
1	4,047381	44,97090	4,047381	44,97090
2	1,532380	17,02644	5,579760	61,99734
3	1,083419	12,03799	6,663180	74,03533

Taula 15: Autovalors de l'anàlisi factorial

En aquest cas si s'estudia el pes de cada variable en els factors, s'obtenen els següents resultats (taula 16). El primer factor presenta una correlació negativa amb el contingut d'aigua a capacitat de camp i la porositat i positiva amb la densitat aparent, tots ells paràmetres físics del sòl. Per altra banda també està correlacionat amb els paràmetres biològics com la respiració del sòl al laboratori i el coeficient de mineralització. Pel que fa al segon i tercer factor no hi ha variables que contribueixen suficientment en aquests factors.

VARIABLES	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Altitud	-0,095713	-0,634224	-0,512431
Mesura CO2	0,080485	-0,563784	-0,246099
Humitat	-0,602823	-0,408147	-0,340263
Cap. Camp	-0,788319	-0,082957	0,075726
Dens. apar	0,893675	0,057906	-0,222557
Porositat	-0,893675	-0,057906	0,222557
C oxidablel	0,085790	-0,677589	0,678070
Respiració sòl	-0,893567	0,045209	0,062874
Coef. mineralit	-0,802350	0,413454	-0,275611
Var. Sp.	4,047381	1,532380	1,083419
Prp. Tot.	0,449709	0,170264	0,120380

Taula 16: Pesos de les variables en els factors

5.4.2 Tractament estadístic de les dades dels sòls agrícoles

A continuació es mostra la matriu de correlacions que ha resultat en l'estudi estadístic del grup dels sòls agrícoles (taula 17):

VARIABLES	Altitud	Mesura CO ₂	Humitat	Cap. camp	Dens. ap	Porositat	C oxidable	Resp. sòl	Coef. mi
Altitud	1,0000	,2673	,1373	-,2309	-,1394	,1394	,0186	,0739	,2455
	p= ---	p=,336	p=,626	p=,408	p=,620	p=,620	p=,948	p=,794	p=,378
Mesura CO ₂		1,0000	,7479	,2244	-,3839	,3839	,1442	,3782	,4921
		p= ---	p=,001	p=,421	p=,158	p=,158	p=,608	p=,165	p=,062
Humitat			1,0000	,0761	-,3739	,3739	,4303	,3398	,1478
			p= ---	p=,788	p=,170	p=,170	p=,109	p=,215	p=,599
Cap. camp				1,0000	-,7049	,7049	,4901	,8260	,4661
				p= ---	p=,003	p=,003	p=,064	p=,000	p=,080
Dens. ap					1,0000	-1,0000	-,6208	-,9017	-,5039
					p= ---	p=0,00	p=,014	p=,000	p=,055
Porositat						1,0000	,6208	,9017	,5039
						p= ---	p=,014	p=,000	p=,055
C oxidable							1,0000	,6052	-,2000
							p= ---	p=,017	p=,475
Resp. sòl								1,0000	,6199
								p= ---	p=,014
Coef. miner									1,0000
									p= ---

Taula 17: Matriu de correlacions pels sòls agrícoles

La mesura de CO₂ al camp té una relació directa amb la humitat de la mostra determinada al laboratori, amb un nivell de significació d'un 99% ($p < 0.01$). En la figura 45, es representa aquesta dependència a l'igual que ja s'havia fet amb tots els sòls (figura 32). Al fer la regressió lineal ressalta que el coeficient R^2 té un valor molt més elevat que quan es feien tots els sòls junts. També s'observa que els sòls que més bé segueixen aquest comportament són els d'humitats compreses entre un 0 i un 10%. Remarcar que inclús en condicions de sòl sec (en el moment que es va fer la

presa de mostra), el sòl ha respirat (cas del sòl 3.2 que es va recollir al migdia quan ja portava diverses hores d'insolació).

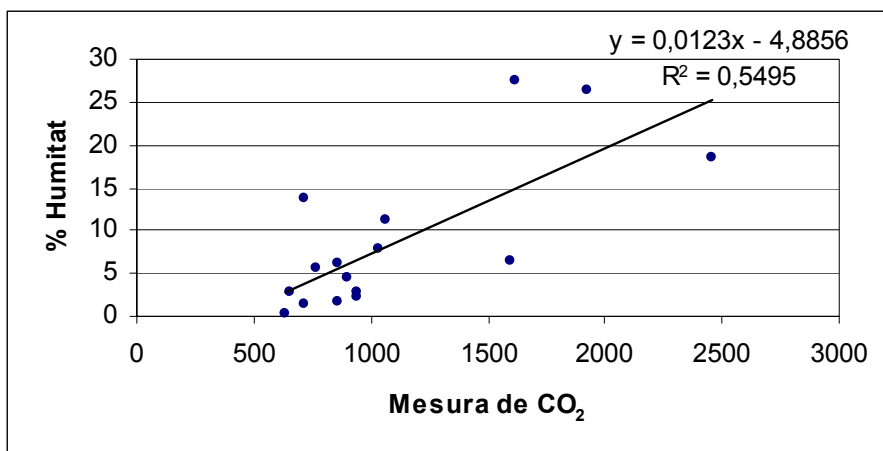


Fig. 32 Representació de la correlació entre la mesura de CO₂ al camp i la humitat

En aquests sòls agrícoles no s'ha vist la correlació entre la humitat i les variables físiques del contingut d'aigua a capacitat de camp (C.C), la densitat aparent (d.a) i la porositat que s'ha vist en el tractament dels sòls en conjunt i dels sòls forestals. Sí que s'aprecia però que la C.C està relacionada amb la d.a i el percentatge de porositat de forma negativa i positiva respectivament i amb un nivell de significança del 95 %.

La densitat aparent també està relacionada negativament amb la quantitat de C oxidable amb una significança del 95 %. I d'igual manera es relaciona la porositat i el C oxidable.

Per altra banda, a l'igual que en els resultats estadístics anteriors, es veu una relació entre la C.C i la determinació de la respiració del sòl que presenta una significança molt remarcable del 99% i un coeficient de correlació de 0.826.

La densitat aparent i porositat estan relacionades significativament amb la quantitat de C oxidable i la respiració del sòl amb valors de coeficients de correlació de 0.621 i 0.902 respectivament.

En aquests sòls agrícoles el C oxidable està relacionat positivament amb la respiració del sòl al laboratori amb un nivell de significació del 95 %.

Per últim notar la relació entre la respiració i el coeficient de mineralització amb un nivell de significació del 95 %. Tant mateix en aquests tipus de sòls no resulta la correlació negativa entre la quantitat de C oxidable i el coeficient de mineralització tal com es veia en el tractament amb tots els sòls en conjunt i el tractament que s'ha fet amb els sòls forestals agrupats.

Pel que fa a l'anàlisi factorial s'ha trobat que en la taula d'autovalors (taula 18), el factor 1 explica un 51,86% dels casos, ajuntant el factor 2 s'explica un 69,77% dels casos i ajuntant la informació del factor 3 s'explica el 84,18%.

Valors	Autovalors	Varianza total (%)	Acumulació d'autovalors	Acumulació (%)
1	4,667535	51,86150	4,667535	51,86150
2	1,612030	17,91144	6,279565	69,77294
3	1,296859	14,40955	7,576424	84,18249

Taula 18: Autovalors de l'anàlisi factorial

Pel que fa als pesos de les variables (taula 19) en els diferents factors es veu que en el factor 1 està correlacionat negativament amb el contingut d'aigua a capacitat de camp, la porositat i la respirometria al laboratori i positivament amb la densitat aparent. En el factor 2 no es detecta cap variable que estigui correlacionada. El factor 3 està correlacionat positivament amb el coeficient de mineralització.

VARIABLES	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Altitud	-0,145816	0,629167	0,074395
Mesura CO2	-0,564609	0,684763	-0,104313
Humitat	-0,516550	0,528104	-0,556860
Cap. Camp	-0,775275	-0,443468	0,214579
Dens. apar	0,947952	0,124631	-0,018151
Porositat	-0,947952	-0,124631	0,018151
C oxidablel	-0,633254	-0,326460	-0,639214
Respiració sòl	-0,954338	-0,165336	0,127303
Coef. mineralit	-0,592132	0,326716	0,706291
Var. Sp.	4,667535	1,612030	1,296859
Prp. Tot.	0,518615	0,179114	0,144095

Taula 19: Pesos de les variables en els factors

5.5 Elaboració de cartografia digital amb un SIG

Els mapes que s'han elaborat amb el sistema informació geogràfica (SIG) ArcView 9.1 es troben a l'annex II i són els següents:

Mapa 1: Mesura de CO₂ al camp

En aquest mapa s'ha representat la mesura del CO₂ que s'ha pres al camp. S'han observat dues zones on la mesura de CO₂ ha estat baixa (de 0 a 1000 ppm): els sòls agrícoles de la vall del Ridaura i els sòls forestals de l'Ardenya que es situen més a prop del mar. Les zones on s'ha mesurat emissions elevades de CO₂ corresponen a les zones forestals de l'Ardenya que no donen directament al mar i punts dispersos per totes les LEUs on han presentat continguts elevats d'humitat. Com ja s'ha observat en els resultats sembla que hi ha una relació entre la humitat puntual dels sòls en el moment de prendre la mostra i la mesura de CO₂ feta en el mateix moment. Per tal fet s'ha superposat les determinacions de les humitats en les mesures de CO₂ en un nou mapa.

Mapa 2: Relació entre humitat del sòl i mesura de CO₂ al camp

Es veu una relació entre els punts que han presentat els percentatges més alts d'humitat (a la plana al·luvial i alguns punts forestals del massís de l'Ardenya que estaven en zones obagues) i els punts on s'ha mesurat major quantitat de CO₂ al camp. Pel altra banda els punts amb un contingut d'humitat baix es relacionen amb les mesures de camp de CO₂ més baixes. Això s'ha detectat en alguns camps agrícoles de la vall del Riudarua, tres punts de la de les Gavarres que tenien una elevada insolació i els punts més litorals de l'Ardenya (al sud de Sant Feliu)

Mapa 3: Contingut de Carboni oxidable

En aquest mapa podem veure els punts que han presentat un major contingut de Carboni oxidable i que corresponen amb a zones forestals mostrejades al massís de l'Ardenya. També s'observen altres punts amb una elevada quantitat de carboni oxidable en la zona forestal de les Gavarres. Els punts que corresponen a una quantitat menor de carboni oxidable són els localitzats en les zones agrícoles de la

conca fluvial del Riudaura i alguns punts dispersos en zones forestals però sense mostrar cap tendència geogràfica.

Mapa 4: Respiració del sòl al laboratori

En aquest mapa es pot observar que els punts on hi hagut una taxa de respiració al laboratori menor corresponen a la zona litoral del massís de l'Ardenya, diversos punts de la zona forestal de les Gavarres que s'ha mostrejat (la zona més meridional) i alguns punts de les zones agrícoles de la plana al·luvial del Riudaura, coincident geogràficament amb la mesura de CO₂ al camp.

Mapa 5: Coeficient de mineralització

Aquest coeficient ens dóna una idea de la capacitat de segrest de C dels sòls, és a dir quant més baix sigui el coeficient de mineralització més C restarà en el sòl. Com es pot observar en el mapa, els sòls amb major capacitat de segrest corresponen als sòls forestals del massís de l'Ardenya, i alguns punts dispersos de les Gavarres i la vall del Riudaura.

6. Discussió

Es podia preveure, observant la litologia granítica de la zona que els sòls podien presentar una textura sorrenca. Talment és així que bàsicament la textura de tots els sòls és sorrenca i d'alguns sòls franca-sorrenca. Els sòls arenosos tenen menor capacitat de segrest de carboni (C) que els sòls francs i argilosos, que tenen partícules més fines i la matèria orgànica queda més ben protegida (Alcañiz, 2005). Això és així perquè en els sòls sorrencs es pot esperar una major aeració i un drenatge més fàcil de l'aigua de manera que el C que vagi entrant al sòl anirà sent mineralitzat ràpidament i no hi haurà una formació neta de matèria orgànica que doni estructura al sòl. Aquest fet pot agreujar encara més el problema ja que al no haver estructura en el sòl, aquest serà més fàcilment erosionable i la matèria orgànica fresca que es pugui haver acumulat en superfície es perdrà per escorrentia superficial.

En tots els sòls mostrejats no s'ha determinat la presència de carbonats amb HCl, a excepció dels punts 5.3 i 6.2 corresponents a un prat i una zona d'herba antropitzades, on possiblement hi hagi hagut un aport de material forani amb unes condicions més bàsiques. Tots els sòls d'estudi són àcids i això concorda amb la tipologia dels sòls silícics de la zona i amb els resultats obtinguts en la determinació de pH. Com a conseqüència d'aquesta acidesa del sòl, no hi hauran carbonats en la composició i per tant no es formaran compostos de Ca i Mg que tenen unes propietats més recalcitrants.

Pel que fa referència a la mesura de CO₂ de camp s'ha vist que tot i ser més representativa perquè es fa la mesura en el medi "in situ" sense alterar les condicions del sòl, presenta una gran variabilitat. Les mesures que s'han registrat abarquen un ampli rang amb un valor mínim de 590 ppm i un valor màxim de 2460 ppm amb una desviació estàndard de 327,07 ppm. Això és així perquè en la mesura al camp hi ha moltes altres variables que no es controlen i que poden estar influenciant en la mesura del CO₂ com la pressió atmosfèrica i la direcció del vent.

A nivell general s'observa que els resultats de densitat aparent de totes les LEUs són molt variats. Tot i que hi ha valors que concorden amb els de la bibliografia on es donen valors de densitats aparents teòriques entre 1.45 i 1.6 g/cm³ per una tipologia de sòls sorrencs (Porta, 2003). En els sòls en estudi la majoria dels valors queden fora d'aquest interval. Tot i això la diferència de contingut de matèria orgànica podria explicar en part aquesta variabilitat.

El fet que la densitat aparent tingui una variació tan elevada podria venir donat també perquè la mesura no s'ha fet amb suficients repeticions i s'han acumulat molts errors en la determinació. Degut a la metodologia del mostreig inalterat que es fa amb un cilindre, s'han pres els cinc centímetres superficials d'un sòl que a vegades presenta una certa pedregositat i que en altres casos, com els sòls forestals, pot contenir arrels. Això ha estat especialment notori a les mostres que s'han agafat degut al poc desenvolupament que els sòls presenten i per tant la proximitat amb la litosfera.

Amb l'anàlisi estadística multifactorial s'ha observat una correlació positiva de la humitat amb la quantitat d'aigua a capacitat de camp i la porositat en el cas que s'ha fet l'anàlisi amb tots els sòls junts i quan s'ha fet l'anàlisi només dels sòls forestals. Aquesta relació semblaria evident ja que quan major és la porositat, més espai té el sòl per emmagatzemar aigua i depenent de la mida dels porus, major és el contingut d'aigua a capacitat de camp. La humitat presenta una correlació negativa amb la densitat aparent. No es pot oblidar que la humitat és un paràmetre que és puntual en el temps i ve condicionat per la meteorologia d'aquell moment.

S'ha observat també una correlació negativa entre la densitat aparent i el C oxidable. Com és conegut al disminuir la densitat aparent, augmenta la porositat i l'aireació en el sòl augmenta ja que es considera que la densitat real de les partícules és constant. Això afavoreix la mineralització de la matèria orgànica i es disminueix el pool de C oxidable del sòl. No obstant, no es pot oblidar que els valors que s'han obtingut de densitat aparent tenen una variació més elevada de l'esperada.

Una correlació molt clara que s'ha donat en les mostres agrícoles i quan es fa l'anàlisi amb totes les mostres és la mesura de CO₂ al camp i el percentatge d'humitat. S'observa que quanta més humitat tingui el sòl més flux de CO₂ és detectat pel sensor. S'ha representat gràficament aquesta relació en el mapa 2: *Relació entre humitat del sòl i mesura de CO₂ al camp* que es pot consultar a l'annex II. No s'aprecia però aquesta correlació quan es fa l'anàlisi estadística en els sòls forestals, denotant que en aquest cas altres paràmetres externs com la concentració atmosfèrica de CO₂ de la zona pugui estar influent.

Tant mateix s'ha vist fent incubacions al laboratori que la respiració presenta una relació amb la humitat del sòl en les anàlisis amb els sòls forestals i amb les dades de tots els sòls. Tot i que aquestes proves es van realitzar després d'activar els sòls portant-los a capacitat de camp i incubant-los durant tres dies, i per tant en unes condicions d'humitat estàndards per totes les mostres, la respiració probablement vindrà determinada per condicions prèvies al mostreig com són la humitat i la capacitat dels microorganismes a ser activats. Tot i això, només seria vàlid fins al llindar del 10 % d'humitat, ja que en les tres mostres analitzades que tenien un percentatge d'humitat més elevat del 10 %, la respiració seguia un comportament arbitrari. En el mapa 4: *Respiració del sòl al laboratori* de l'annex II es pot veure gràficament com la majoria dels punts que han respirat poc al laboratori corresponen a la zona del massís de l'Ardenya per una banda on sorprenentment la quantitat de C oxidable era elevada (observar mapa 3: *Quantitat de Carboni oxidable* en l'annex II). Aquest fet ens indicaria la importància de la qualitat de la matèria orgànica per a ser utilitzada o no pels microorganismes com a font de C. Altres punts amb respiracions baixes són els sòls forestals de les Gavarres amb algunes excepcions i alguns punts de les zones agrícoles del Riudaura.

El coeficient de mineralització també es veu relacionat amb la capacitat de camp i la porositat. I la capacitat de camp també està relacionada amb la respiració del sòl en tots els casos menys en els sòls agrícoles, ja que quan més contingut d'aigua tenen els sòls més elevada és la respiració dels microorganismes edàfics.

També s'ha observat una correlació negativa entre el percentatge de carboni oxidable, és a dir, la matèria orgànica i el coeficient de mineralització. Aquest resultat es podria explicar pel fet de que en aquests sòls amb més quantitat de C oxidable, una part d'aquest C sigui més resistent a la degradació, és a dir estigui més humificat, de manera que difícilment pugui ser mineralitzat. Per contra quan es detecten petites quantitats de carboni oxidable i coeficients de mineralització molt elevats tindríem la situació contrària en què la matèria orgànica és molt fàcilment hidrolitzada i els microorganismes poden degradar-la fàcilment.

Per últim el coeficient de mineralització no segueix una distribució geogràfica clara (Veure mapa 5: *Coeficient de mineralització* en annex II). S'han trobat punts amb coeficients de mineralització baixos tan en sòls agrícoles com en sòls forestals, tot i que la casuística d'aquests dos usos del sòl sigui diferent. Segons els resultats els sòls forestals de l'Ardenya semblen bons candidats per segrestar carboni tot i que s'haurien de fer posteriors estudis sobre la zona. Molts punts d'aquesta zona coincideixen amb la zona cremada el gener del 2005 i probablement aquest fet tingui una influència en els resultats.

7. Conclusions

- Els sòls de la zona d'estudi presenten una textura sorrenca i franc-sorrenca amb un pH lleugerament àcid i sense presència de carbonats. Les conductivitats elèctriques han estat en tots els casos dins dels nivells de sòls no salins.
- La mesura de l'emissió de CO₂ al camp ha donat una correlació significativa del 99% amb la humitat mesurada al laboratori.
- S'ha trobat una relació entre els continguts de carboni oxidable i la gestió dels sòls, sent els sòls forestals els que tenen un major percentatge de carboni oxidable, en concret a la zona de l'Ardenya. Els sòls agrícoles han presentat una quantitat menor de C oxidable.
- La relació entre el contingut de carboni oxidable i el coeficient de mineralització (indicatiu de la capacitat de segrest de carboni) ha estat inversament proporcional en la majoria de casos, trobant-se la següent tendència: quan més carboni oxidable té el sòl, menor és el seu coeficient de mineralització.
- S'ha trobat uns coeficients de mineralització elevats en gran part dels casos, fet que indica la baixa capacitat de segrest de C dels sòls de la zona.
- Amb l'ús dels sistemes d'informació geogràfica s'ha observat que els sòls forestals del massís de l'Ardenya tenen una major capacitat de segrest de carboni (mesurat com l'invers del coeficient de mineralització). Els sòls forestals de la part més meridional del massís de les Gavarres no presenten especial capacitat per a segrestar carboni.

8. Bibliografia

Agencia Europea de Medio Ambiente (2006). *Impactos del cambio climático en Europa: una evaluación basada en indicadores*. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente.

Alcañiz, J.M., Boixadera J., Felipó M.T., Ortiz O., Poch R.M. (2005) *El paper del sòls de Catalunya en el canvi climàtic*. Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya. Generalitat de Catalunya. Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible

Alef K. and Nannipieri P. (1998). *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press Limited

Àncora (2003). Setmanari de Sant Feliu de Guíxols. N° 2795

Atlas Comarcal de Catalunya, Baix Empordà (1998). Institut Cartogràfic de Catalunya

Bouwman A.F. (1990). *Soils and the Greenhouse Effect*. Ed. Wiley & Sons

Climate Science Group (1998). <<http://www.realclimate.org>>
Imatge del link <http://www.lib.utah.edu/services/prog/gould/1998/Figure_6.gif>

Dommergues, Y. (1960). *La notion de coefficient de mineralisation du carbone dans les soils*. L'agronomie tropicale. XV, 54-60

Edwards N. T. (1982). *The use of soda-lime for measuring respiration rates in terrestrial systems*. Pedobiología 28, 321-330

FAO (2002) *Captura de Carbono en los Suelos para un Mejor Manejo de la Tierra*. Depósito de Documentos de la FAO nº 96. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura i la Alimentación

- Freibauer A., Rounsevell M.D.A., Smith P., Verhagen J. (2004). *Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe*. *Geoderma* 122, 1–23
- Genomics. U.S. Department of Energy Office <<http://www.geonomics.energy.org>>
- Gisbert J.M. (1999) *Taxonomía de Suelos. "Soil Taxonomy. A basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys"*
- GREC. Grup Enciclopèdia Catalana <<http://www.grec.net>>
- Guy J., Hervé Le Treut (2005). *El canvi climàtic* Generalitat de Catalunya. Dpt. de Medi Ambient i Habitatge.
- Hontoria C., Rodríguez-Murillo J.C., Saa A. (1999) *Relationships between Soil Organic Carbon and Site Characteristics in Peninsular Spain*. *Soil Sciences Society American Journal* Vol. 63 614-621
- IPCC (1997). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Paris
- IPCC (2005). *Climate Change, Third Assessment Report, Contribution by Working Group 1, Climate Change 2001: The Scientific Basis, Summary for Policymakers*.
- Lal, R., (2006). *Carbon Management in Agricultural Soils*. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 12: 303-322
- Lal, R. (2004a). *Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security* *Science* 305, 1623-1627.
- Lal R, Griffin M, Apt J, Lave L, Morgan MG. (2004b). *Ecology; Managing soil carbon*. *Science* 304-393
- Liu S. Bliss N., Sundquist E. Huntington TG (2003). *Modeling carbon dynamics in vegetation and soil under the impact of soil erosion and deposition*. *Global Biogeochemical Cycles* 17: 1074

- Martín-Vide, J. *El Clima: Geografía General dels Països Catalans*. Barcelona, Enciclòpedia Catalana, 1992.
- Orozco C., Pérez A., González M.N., Rodríguez F.J., Marcos J. (2003) *Contaminación ambiental: una visión desde la química*. Ed. International Thomson, cop.
- Pascual R. (2001). *Guia dels arbustos dels Països Catalans*. 3a edició 2001 Pòrtic Natura
- Porta J., López-Acevedo M., Roquero C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa
- Porta J., López-Acevedo M. (2005) *Agenda de campo de suelos*. Ediciones Mundi-Prensa
- Quereda Sala J., Montón Chiva E., Escrig Barberá J., Gil Olcina A., Olcina Cantos J., Rico Amorós A., (2001) *Nuestro porvenir climático: ¿Un escenario de aridez?* Publicacions de la Universitat Jaume I. Ed. Athenea
- Starr GC, Lal R., Kimble JM, Owens L. (2001). *Assessing the impact of erosion on soil organic carbon pools and fluxes*. Assessment Methods for Soil Carbon, 417-426
- Stevenson, F.J. (1994). *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*. Second edition. Wiley, New York.
- UNFCCC (2004). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Los diez primeros años*.
- UN Treaty Collection. *Protocolo de Kyoto de la convención marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* <<http://untreaty.un.org/English/notpubl/kyoto-sp.htm>>
- Yoo K., Amundson R. Heimsath AM, Dietrich WE. (2005). *Erosion of upland hillslope soil organic carbon: Coupling field measurements with a sediment transport model*. Global Biogeochemical Cycles 19: GB3003.